84 HOJAS

A.I. KAPANDJI

Ex interino de los Hospitales de París
Ex jefe de clínica quirúrgica en la Facultad de Medicina de París
Asistente de los Hospitales de París
Miembro de la Sociedad francesa de ortopedia y traumatología
Presidente 87-88 de la Sociedad francesa de cirugía de la mano (GEM)
Miembro de la Sociedad americana y de la Sociedad italiana de cirugía de la mano

FISIOLOGÍA ARTICULAR

DIBUJOS COMENTADOS DE MECÁNICA HUMANA

Prefacio del profesor Gérard Saillant

3

6e edición

1. Raquis
2. Cintura pélvica
3. Raquis lumbar
4. Raquis torácico y tórax
5. Raquis cervical
6. Cabeza

539 dibujos originales del autor

Versión española de
María Torres Lacomba
Fisioterapeuta
Profesora Titular del Departamento de Fisioterapia
Universidad de Alcalá. Madrid

EDITORIAL MÉDICA panamericana

MALOINE

Catalogación en Publicación de la Biblioteca Nacional

Kapandji, Adalbert Ibrahim

Fisiología articular : dibujos comentados de mecánica humana / A.I. Kapandji ; prefacio del profesor Gérard Saillant. — 6ª ed. — Madrid : Médica Panamericana, -[2008]
v. <3> : il. col. ; 28 cm

Traducción de: Physiologie articulaire
Contiene: t. 3. Raquis, cintura pélvica, raquis lumbar, raquis torácico y tórax, raquis cervical, cabeza

ISBN 978-84-9835-047-0

1. Articulaciones-Movimiento. I. Título

612.75
612.76

Título del original en francés
PHYSIOLOGIE ARTICULAIRE. 3. Tronc et Rachis
© Editions MALOINE. 27, rue de l'École de Médecine. 75006 París, France

Versión española María Torres Lacomba. Revisión científica de Orlando Mayoral del Moral. Profesor visitante de la UCLM.

5ª edición, enero 1998
6ª edición, septiembre 2007; 1ª reimpresión, septiembre 2008

La medicina es una ciencia en permanente cambio. A medida que las nuevas investigaciones y la experiencia clínica amplían nuestro conocimiento, se requieren modificaciones en las modalidades terapéuticas y en los tratamientos farmacológicos. Los autores de esta obra han verificado toda la información con fuentes confiables para asegurarse de que ésta sea completa y acorde con los estándares aceptados en el momento de la publicación. Sin embargo, en vista de la posibilidad de un error humano o de cambios en las ciencias médicas, ni los autores, ni la editorial o cualquier otra persona implicada en la preparación o la publicación de este trabajo, garantizan que la totalidad de la información aquí contenida sea exacta o completa y no se responsabilizan por errores u omisiones o por los resultados obtenidos del uso de esta información. Se aconseja a los lectores confirmarla con otras fuentes. Por ejemplo, y en particular, se recomienda a los lectores revisar el prospecto de cada fármaco que planean administrar para cerciorarse de que la información contenida en este libro sea correcta y no se hayan producido cambios en las dosis sugeridas o en las contraindicaciones para su administración. Esta recomendación cobra especial importancia con relación a fármacos nuevos o de uso infrecuente.

Los Editores han hecho todos los esfuerzos para localizar a los titulares del copyright del material fuente utilizado por el autor. Si por error u omisión, no se ha citado algún titular, se subsanará en la próxima reimpresión.

Gracias por comprar el original. Este libro es producto del esfuerzo de profesionales como usted, o de sus profesores, si usted es estudiante. Tenga en cuenta que fotocopiarlo es una falta hacia ellos y un robo de sus derechos intelectuales.

EDITORIAL MÉDICA panamericana

Visite nuestra página web:
http://www.medicapanamericana.com

ARGENTINA
Marcelo T. de Alvear 2145 (C1122AAG) - Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Tel.: (54-11) 4821-2066 / Fax: (54-11) 4821-1214
e-mail: info@medicapanamericana.com

COLOMBIA
Carrera 7a A. Nº 69-19 - Santa Fe de Bogotá D.C., Colombia
Tel.: (57-1) 235-4068 / Fax: (57-1) 345-0019
e-mail: infomp@medicapanamericana.com.co

ESPAÑA
Alberto Alcocer, 24 - 6º piso - 28036 Madrid, España
Tel.: (34-91) 1317800 / Fax: (34-91) 1317805
e-mail: info@medicapanamericana.es

MÉXICO
Hegel 141, 2º piso - Colonia Chapultepec Morales
Delegación Miguel Hidalgo - 11570 - México D.F., México
Tel.: (52-55) 5262-9470 / Fax: (52-55) 2624-2827
e-mail: infomp@medicapanamericana.com.mx

VENEZUELA
Edificio Polar, Torre Oeste, Piso 6, Of. 6-C
Plaza Venezuela, Urbanización Los Caobos, Parroquia El Recreo
Municipio Libertador - Caracas Dpto.Capital, Venezuela
Tel.: (58-212) 793-2857/6906/5985/1666 / Fax: (58-212) 793-5885
e-mail: info@medicapanamericana.com.ve

ISBN (tomo 3): 978-84-9835-047-0
ISBN (obra completa): 978-84-7903-377-4

© 2007 Editions Maloine
27, rue de l'École de Médecine. 75006 París, France

Todos los derechos reservados. Este libro o cualquiera de sus partes no podrán ser reproducidos ni archivados en sistemas recuperables, ni transmitidos en ninguna forma o por ningún medio, ya sean mecánicos o electrónicos, fotocopiadoras, grabaciones o cualquier otro, sin el permiso previo de Editorial Médica Panamericana, S.A.

© 2008 Editorial Médica Panamericana, S.A.
Alberto Alcocer 24 - 28036 Madrid
Depósito legal: M-43267-2008

A mi esposa
A mi madre, artista pintora
A mi padre, cirujano
A mi abuelo materno

Prefacio

Dedico con sumo placer esta nueva edición del tercer volumen (¡el segundo llegará a continuación, pronto, ya que me consagro por completo a él!) a mis amigos españoles y latinoamericanos. Gracias a mis libros he hecho muchos amigos hispano parlantes que me acogen con cariño cada vez que acudo de visita, y por ello, les estoy enormemente agradecido. Siempre he pensado que para aprender Anatomía es necesario entender el *por qué* y el *cómo*..... Cuando se entiende «como funciona», uno puede construir y almacenar en su cabeza un «hombre de vidrio» conservando así en la memoria lo que, para el profano, parece tan difícil de entender y recordar.....
Esta edición no sólo incluye el color, lo que cambia todo, sino también nuevos dibujos e ideas inéditas que, sin duda, despertarán el interés de todos aquellos apasionados por la *Biomecánica*.
Espero que mis amigos Españoles y Latinoamericanos acojan este volumen con el mismo entusiasmo con el que recibieron el primero....
Puede que un día, si dispongo de tiempo, escriba, con múltiples dibujos, como siempre, un libro sobre *Biomecánica general* que incluya todo lo expresado en los tres primeros libros sobre el funcionamiento del Aparato Locomotor.
Muchas Gracias...

DR. A.I. KAPANDJI

Prefacio a la 6ª edición en francés

El raquis ya no es una estructura anatómica misteriosa con una fisiología incomprensible cuando está bien explicada como es el caso de esta obra. A pesar de las diferencias propias de las distintas zonas - cervical, torácica, lumbar y de la región. En cuanto a la fisiología, esta es en realidad simple y lógica... ¡Cuántas incorrecciones se han podido decir, escribir o hacer en relación al raquis!
Todo se clarifica en el momento en el que se entiende que sus dos funciones principales son la estabilidad y la movilidad, garantizando la protección del eje neutral y conociendo que debe hallarse un equilibrio entre estas dos funciones: el exceso de una puede actuar negativamente sobre la otra. En la cima de la columna vertebral se halla la cabeza, que desempeña un papel social y relacional en la medida en la que contiene los cinco sentidos (de los cuales cuatro están directamente relacionados con el cerebro).
Este es el gran mérito de Adalbert I. Kapandji, el haber mostrado todo esto de forma sencilla, natural, mediante un texto claro y muy comprensible, acompañado de esquemas y de dibujos a color de una simplicidad extraordinaria. Con este libro, todo parece tan evidente como el huevo de Cristóbal Colón... y el mito de un raquis complicado se evapora.
Mejorado y enriquecido en esta 6ª edición, esta obra de referencia y de reflexión se lee, incluso se devora, tanta es la pasión ante el tema y su forma didáctica y cautivadora de presentarlo. En este sentido, es útil, incluso indispensable, tanto para el estudiante de medicina como para cualquier terapeuta interesado en el aparato locomotor: ortopeda, reumatólogo, de medicina física, neurocirujano, fisioterapeuta, osteópata e incluso para los músicos y los deportistas de alto nivel deseosos de entender su propia mecánica.
Gracias a Adalbert I. Kapandji por haber restablecido algunas verdades fundamentales.

Profesor G. Saillant
Miembro de la Academia de Cirugía
Ex Decano de la Facultad de Medicina Pitié Salpêtrière (París VI)
Ex Jefe del Servicio de Ortopedia del Hospital Pitié Salpêtrière

Advertencia a la 6ª edición

Esta nueva edición del Tomo 3 de la obra Fisiología Articular está en la misma línea que la del Tomo 1: no sólo todas las figuras se han rehecho en color sino que se han añadido nuevos contenidos, consiguiendo una actualización total del texto. Los términos anatómicos siguen la Nomenclatura Internacional. Los capítulos existentes han sido enriquecidos, por ejemplo el del raquis cervical incluye una página sobre la arteria vertebral puesto que su estrecha relación con las vértebras la expone notablemente a manipulaciones mal realizadas. El conocimiento del pedículo vertebral ha permitido un gran progreso en la cirugía raquídea, gracias a la introducción del tornillo pedicular. En el capítulo del raquis lumbar, distintas actitudes de la vida corriente o profesional han sido analizadas. Se han añadido capítulos, como el incluido en la pelvis con una descripción funcional del periné en las actividades fisiológicas de la micción, de la defecación, de la erección, y del parto. Un capítulo nuevo sobre la cabeza ha permitido describir la fisiología de la articulación temporomandibular, ausente en ediciones anteriores, pero indispensable para la alimentación. También puede descubrirse que los movimientos de los globos oculares se deben a la fisiología de una enartrosis perfecta: articulación esférica idónea, comparable a aquellas del mismo tipo, como la articulación de la cadera y la articulación del hombro, está sujeta a los mismos imperativos mecánicos, y la fisiología de los músculos oblicuos se explica a propósito de la mirada patética... todo esto, ilustrado con nuevos dibujos originales....
En definitiva, esta sexta edición del Tomo 3, al igual que la del Tomo 1 (y en espera de la del Tomo 2), es un nuevo libro, tanto por su presentación como por su contenido y merece, por este hecho, el interés renovado de los lectores interesados en la biomecánica del cuerpo humano.

Prefacio a la 5ª edición

Hace ya más de veinticinco años que se escribieron estos tres volúmenes de Esquemas Comentados de Fisiología Articular obteniendo gran éxito entre lectores de todo tipo, estudiantes de medicina y fisioterapia, médicos, fisioterapeutas y cirujanos. El que continúe en boga, se debe al particular carácter de estas obras, cuyo objetivo es enseñar el funcionamiento del Aparato Locomotor con atractivo, privilegiando la imagen frente al texto: el principio es explicar una única idea a través del dibujo, lo que permite una memorización y una comprensión definitivas. El hecho de que estos libros no tengan ningún competidor serio, demuestra claramente su valor intrínseco. A decir verdad, es la claridad de la representación espacial del funcionamiento de los músculos y de las articulaciones lo que hace que sea tan evidente: estos esquemas no integran únicamente las tres dimensiones del espacio, sino también una cuarta dimensión, la del Tiempo, puesto que la Anatomía Funcional está viva, y por ende, móvil... es decir, inscrita en el Tiempo. Esto es lo que diferencia la Biomecánica de la Mecánica propiamente dicha, ó Mecánica Industrial. La Biomecánica es la Ciencia de las estructuras evolutivas, que se modifican según los contratiempos y evolucionan en función de las necesidades, capaces de renovarse constantemente para compensar el desuso. Es una mecánica sin eje materializado, móvil incluso en el transcurso del movimiento. Sus superficies articulares integran un juego mecánico que sería del todo imposible en mecánica industrial, pero, que le da posibilidades adicionales.
He aquí, el espíritu que impregna estos tomos, a la par que deja una puerta abierta a otros métodos de enseñanza para el futuro. Este es, en el fondo, el secreto de su perennidad.

A.I.KAPANDJI

Índice

Capítulo 1: El raquis en conjunto 2

El raquis, eje mantenido ... 4
El raquis, eje del cuerpo y protector del eje nervioso ... 6
Las curvas del raquis en conjunto ... 8
La aparición de las curvas raquídeas ... 10
Constitución de la vértebra tipo ... 12
Las curvas raquídeas ... 14
Estructura del cuerpo vertebral ... 16
Las divisiones funcionales de una vértebra ... 18
Los elementos de unión intervertebral ... 20
Estructura del disco intervertebral ... 22
El núcleo pulposo comparado a una rótula ... 24
El estado de precompresión del disco y la autoestabilidad de la articulación discovertebral ... 26
La migración de agua en el núcleo pulposo ... 28
Las fuerzas de compresión sobre el disco ... 30
Variaciones del disco según el nivel ... 32
Comportamiento del disco intervertebral en los movimientos elementales ... 34
Rotación automática del raquis durante la inflexión lateral ... 36
Amplitudes globales de la flexoextensión del raquis ... 38
Amplitudes totales de la inflexión lateral del raquis ... 40
Amplitudes globales de la rotación del raquis en conjunto ... 42
Apreciación clínica de las amplitudes globales del raquis ... 44

Capítulo 2: La cintura pélvica 46

La cintura pélvica en el hombre y en la mujer ... 48
Modelo mecánico de la cintura pélvica ... 50
Arquitectura de la cintura pélvica ... 52
Las superficies articulares de la articulación sacroilíaca ... 54
La carilla auricular del sacro ... 56
Los ligamentos de la articulación sacroilíaca ... 58
La nutación y la contranutación ... 60
Las diferentes teorías de la nutación ... 62
La sínfisis púbica y la articulación sacrococcígea ... 64
Influencia de la posición sobre las articulaciones de la cintura pélvica ... 66
La pared pélvica ... 68
El diafragma inferior pelviano ... 70
El periné femenino ... 72
Los volúmenes abdomino-pélvicos ... 74
El parto ... 76
Micción y defecación: ejemplo del periné femenino ... 78
El control urinario ... 78
El control fecal ... 78
El periné masculino ... 80
Las referencias externas de la pelvis: el rombo de Michaelis y el plano de Lewinneck ... 82

Capítulo 3: El raquis lumbar 84

El raquis lumbar en conjunto ... 86
Constitución de las vértebras lumbares ... 88
El sistema ligamentoso en el raquis lumbar ... 90
Flexoextensión e inflexión del raquis lumbar ... 92
Rotación en el raquis lumbar ... 94
La charnela lumbosacra y la espondilolistesis ... 96
Los ligamentos iliolumbares y los movimientos en la charnela lumbosacra ... 98
Los músculos del tronco en un corte horizontal ... 100
- Los músculos del grupo posterior ... 100
- Los músculos laterovertebrales ... 100
- Los músculos de la pared del abdomen ... 100

Los músculos posteriores del tronco ... 102
- El plano profundo ... 102
- El plano medio ... 102
- El plano superficial ... 102

Papel de la tercera vértebra lumbar y de la duodécima vértebra torácica ... 104
Los músculos laterales del tronco ... 106
Los músculos de la pared abdominal: los músculos rectos del abdomen y transversos del abdomen ... 108
- El músculo recto del abdomen ... 108
- El músculo transverso del abdomen ... 108

Los músculos de la pared abdominal: el músculo oblicuo interno y el músculo oblicuo externos del abdomen ... 110
- El músculo oblicuo interno del abdomen ... 110
- El músculo oblicuo externo del abdomen ... 110

Los músculos de la pared abdominal: el contorno del talle ... 112
Los músculos de la pared abdominal: la rotación del tronco ... 114
Los músculos de la pared abdominal: la flexión del tronco ... 116
Los músculos de la pared abdominal: el enderezamiento de la lordosis lumbar ... 118
El tronco como estructura hinchable. Prueba de Valsalva ... 120
Estática del raquis lumbar en bipedestación ... 122
Las posiciones de sedestación y bipedestación asimétricas: el raquis de los músicos ... 124
El raquis en las posiciones de sedestación y decúbito ... 126
- Las posiciones en sedestación ... 126
- El decúbito ... 126

Amplitud de flexoextensión del raquis lumbar ... 128
Amplitud de inclinación del raquis lumbar ... 130
Amplitud de rotación del raquis toracolumbar ... 132
El agujero de conjunción y el cuello radicular ... 134
Diferentes tipos de hernia discal ... 136
Hernia discal y mecanismo de compresión radicular ... 138
El signo de Lasègue ... 140

Capítulo 4: El raquis torácico y el tórax 142

La vértebra torácica tipo y la duodécima vertebra torácica ... 144
- La vértebra torácica tipo ... 144
- La 12ª vértebra torácica ... 144

Flexoextensión e inflexión lateral del raquis torácico ... 146
Rotación axial del raquis torácico ... 148
Las articulaciones costovertebrales ... 150
Movimientos de las costillas en torno a las articulaciones costovertebrales ... 152
Movimientos de los cartílagos costales y del esternón ... 154
Las deformaciones del tórax en el plano sagital durante la inspiración ... 156
Mecanismo de los músculos intercostales y del músculo transverso del tórax ... 158
- Los músculos intercostales ... 158
- El músculo transverso del tórax ... 158

El diafragma y su mecanismo ... 160
Los músculos de la respiración ... 162
- Primer grupo ... 162
- Segundo grupo ... 162
- Tercer grupo ... 162
- Cuarto grupo ... 162

Relación de antagonismo-sinergia entre el diafragma y los músculos abdominales ... 164
- Durante la inspiración ... 164
- Durante la espiración ... 164

La circulación aérea en las vías respiratorias ... 166
Los volúmenes respiratorios ... 168
- Comparación de los distintos volúmenes pulmonares ... 168
- Durante el esfuerzo ... 168

Fisiopatología respiratoria ... 170
Tipos respiratorios: los deportistas, los músicos y los otros... ... 172
El espacio muerto ... 174
La complianza torácica ... 176
Movilidad elástica de los cartílagos costales ... 178
Mecanismo de la tos. Maniobra de Heimlich ... 180
- Mecanismo de la tos ... 180
- Maniobra de Heimlich ... 180

Los músculos de la laringe y la protección de las vías aéreas durante la deglución ... 182
La glotis y las cuerdas vocales. La fonación ... 184

Capítulo 5: El raquis cervical 186

El raquis cervical en conjunto ... 188
Constitución esquemática de las tres primeras vértebras cervicales ... 190
- El atlas ... 190
- El axis ... 190
- La tercera vértebra cervical ... 190

Las articulaciones atlantoaxiales ... 192
La flexoextensión en las articulaciones atlantoaxiales y atloidoodontoideas ... 194
Rotación en las articulaciones atlantoaxiales lateral y media ... 196
Las superficies de la articulación atlantooccipital ... 198
La rotación en las articulaciones atlantooccipitales ... 200
La inclinación lateral y la flexoextensión en la articulación atlantooccipital ... 202
Los ligamentos del raquis suboccipital ... 204
Los ligamentos suboccipitales ... 206
Los ligamentos suboccipitales (continuación) ... 208
Constitución de una vértebra cervical ... 210
Los ligamentos del raquis cervical inferior ... 212
Flexoextensión en el raquis cervical inferior ... 214
Los movimientos en las articulaciones uncovertebrales ... 216
La orientación de las carillas articulares. El eje mixto de rotación-inclinación ... 218

Los movimientos combinados de inclinación-rotación en el raquis cervical inferior ... 220
Geometría del movimiento de inclinación y de rotación ... 222
Modelo mecánico del raquis cervical ... 224
Los movimientos de inclinación-rotación en el modelo del raquis cervical ... 226
Comparaciones entre el modelo y el raquis cervical durante los movimientos de inclinación-rotación ... 228
Las compensaciones en el raquis suboccipital ... 230
Amplitudes articulares en el raquis cervical ... 232
Equilibrio de la cabeza sobre el raquis cervical ... 234
Constitución y acción del músculo esternocleidomastoideo ... 236
Los músculos prevertebrales: el músculo largo del cuello ... 238
Los músculos prevertebrales: los músculos largo de la cabeza, recto anterior de la cabeza y recto lateral de la cabeza ... 240
El músculo largo de la cabeza ... 240
El músculo recto anterior de la cabeza ... 240
El músculo recto lateral de la cabeza ... 240
Los músculos prevertebrales: los músculos escalenos ... 242
El músculo escaleno anterior ... 242
El músculo escaleno medio ... 242
El músculo escaleno posterior ... 242
Los músculos prevertebrales en conjunto ... 244
La flexión de la cabeza y el cuello ... 246
Los músculos de la nuca ... 248
El plano profundo ... 248
El plano de los complejos ... 248
El plano del músculo esplenio y del músculo elevador de la escápula ... 248
El plano superficial ... 248
Resumiendo ... 248
Los músculos suboccipitales ... 250
Acción de los músculos suboccipitales: inclinación y extensión ... 250
Acción rotadora de los músculos suboccipitales ... 254
Los músculos de la nuca: el primer y el cuarto planos ... 256
El plano profundo de los músculos de la nuca ... 256
El plano superficial de los músculos de la nuca ... 256
Los músculos de la nuca: el segundo plano ... 258
Los músculos de la nuca: el tercer plano ... 260
La extensión del raquis cervical por los músculos de la nuca ... 262
Sinergia-antagonismo de los músculos prevertebrales y del músculo esternocleidomastoideo ... 264
Las amplitudes globales del raquis cervical ... 266
Nexos entre el eje nervioso y el raquis cervical ... 268
Nexos entre las raíces cervicales y el raquis ... 270
La arteria vertebral y los vasos del cuello ... 272
La importancia del pedículo vertebral: su papel en la fisiología y la patología raquídeas ... 274

Capítulo 6: La cabeza 276

El cráneo ... 278
Las suturas craneales ... 280
El cráneo y el macizo facial ... 282
El campo visual y la localización de los sonidos ... 284
Campo visual ... 284
Localización de los sonidos ... 284
Los músculos de la cara ... 286
Alrededor de los ojos ... 286
Alrededor de las fosas nasales ... 286
Alrededor de la boca ... 286
Los movimientos de los labios ... 288
Los movimientos de los labios (continuación) ... 290
Las expresiones ... 292
Las articulaciones temporomandibulares ... 294
La estructura de las articulaciones temporomandibulares ... 296
Los movimientos de la articulación temporomandibular ... 298
Los músculos masticadores del cierre mandibular ... 300
Los músculos de la apertura mandibular ... 302
El papel de los músculos en los movimientos mandibulares ... 304
El globo ocular: una enartrosis perfecta ... 306
Los motores oculares en los movimientos rectangulares ... 308
Los motores oculares en la convergencia de la mirada ... 310
El problema mecánico de la mirada oblicua ... 312
La mirada oblicua: papel de los músculos oblicuos y del nervio troclear ... 314

Índice analítico ... 317
Bibliografía ... 325
Modelo mecánico del raquis cervical ... 327

Capítulo 1

EL RAQUIS EN CONJUNTO

EL HOMBRE ES UN VERTEBRADO

El Hombre, como especie, es un vertebrado. Representa el final de una larga evolución que nació con el pez, que salió del mar para colonizar la tierra.
Su aparato locomotor, cuyo eje es el raquis, proviene de la transformación de un prototipo que podía identificarse en el Crossopterygii, animal que posee cuatro patas y una cola, intermediario entre pez y el reptil. Todos los elementos de este modelo inicial pueden hallarse del hombre, más o menos modificados, con dos características importantes:

- la desaparición de la cola;
- el paso a la verticalidad.

Esto desencadenó en el hombre profundas modificaciones del eje del cuerpo, el raquis, aunque éste ha estado siempre constituido por huesos cortos apilados los unos *sobre los otros* y móviles los unos en relación a los otros: las vértebras.
Este conjunto osteoarticular sirve a la vez de eje al armazón del cuerpo y de protección a la médula espinal. Esta última, verdadero cable que encamina las informaciones hacia el cerebro, protegido por el cráneo en la cima del edificio raquídeo, que transmite las órdenes a todos los músculos del cuerpo.
El ser humano comparte el citado raquis con sus primos los grandes monos, también capaces de mantener la bipedestación, pero no de forma permanente. Debido a este hecho, el raquis del ser humano presenta diferencias en relación al de sus primos.

El raquis, eje mantenido

El raquis, eje del cuerpo, debe conciliar dos imperativos mecánicos contradictorios: la rigidez y la flexibilidad. A pesar de la inestabilidad aparente del apilamiento de las vértebras, esto lo consigue gracias a su **estructura mantenida**. De hecho, en la **posición simétrica (Fig. 1)**, el raquis en conjunto puede considerarse el mástil de un navío. Dicho mástil, apoyado sobre la pelvis, continua hacia la cabeza:

- a la altura de los hombros soporta una gran verga transversal: la cintura escapular;
- existen en cada nivel, tensores ligamentosos y musculares dispuestos a modo de **maromas**, es decir, uniendo el mástil mismo a su base de implantación, la pelvis.

En la cintura escapular se halla un segundo sistema de maromas que constituye un rombo de eje mayor vertical y de eje menor transversal.

En la posición simétrica, las tensiones están equilibradas en ambos lados y el mástil es vertical y rectilíneo.

En la posición de carga unilateral (Fig. 2), cuando el peso del cuerpo recae sobre un solo miembro inferior, la pelvis bascula hacia el lado opuesto y el raquis se ve obligado a seguir un trayecto sinuoso: en un primer momento, convexo en la zona lumbar hacia el lado del miembro en descarga, a continuación, cóncavo en la zona torácica y por último, convexo. Los tensores musculares regulan de forma automática su tensión para restablecer el equilibrio; y esto bajo la influencia del sistema nervioso central. Por lo tanto, en este caso, se trata de una adaptación activa merced al ajuste permanente del tono de los distintos músculos de la postura por el sistema extrapiramidal. La flexibilidad del eje raquídeo se debe a su configuración por múltiples piezas superpuestas, unidas entre sí mediante elementos ligamentosos y musculares. De este modo, esta estructura puede deformarse aún permaneciendo rígida bajo la influencia de tensores musculares.

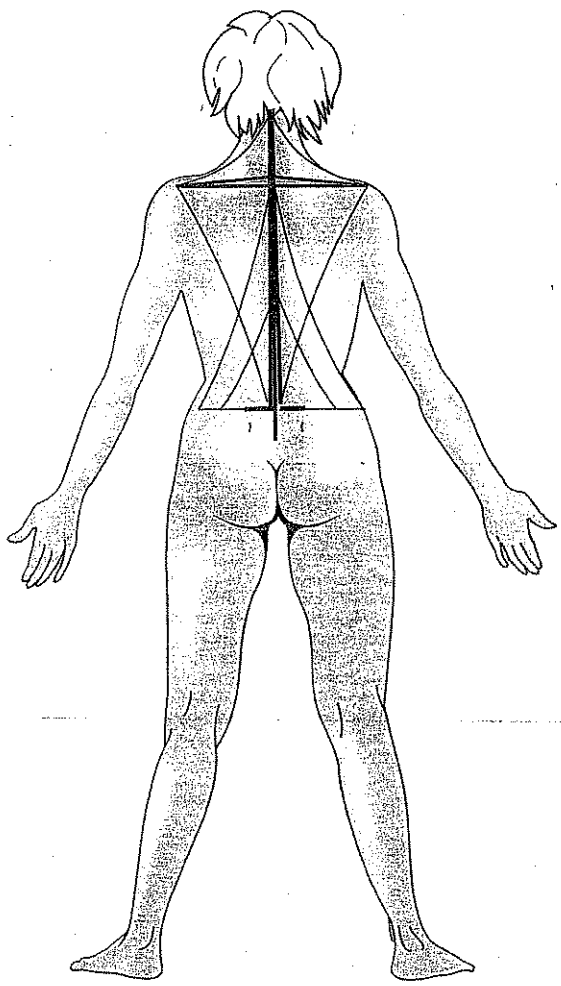


Fig. 1

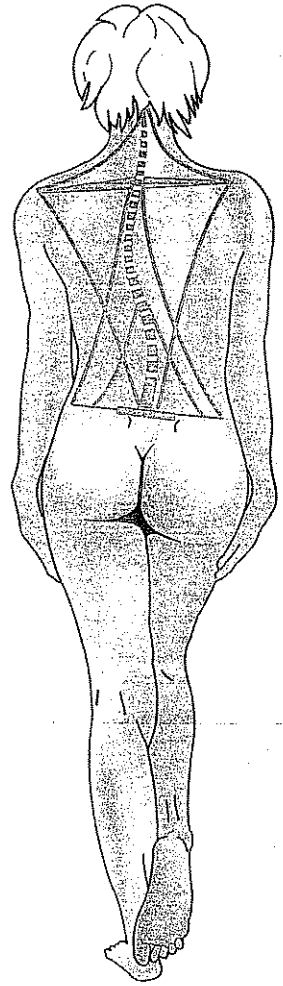


Fig. 2

El raquis, eje del cuerpo y protector del eje nervioso

La columna vertebral constituye realmente el **pilar central del tronco (Fig. 3)**. De hecho, si en su porción torácica **(corte b)** el raquis se aproxima al plano posterior que se localiza a un cuarto del espesor del tórax, en su porción cervical **(corte a)**, el raquis ya se sitúa más central, en el tercio del espesor del cuello. En su porción lumbar **(corte c)**, el raquis es totalmente central, ya que se localiza a la mitad del espesor del tronco. Esta diferencia de localización, se debe a distintas razones que varían según el nivel. En su porción cervical, el raquis soporta el cráneo y debe situarse lo más próximo posible a su centro de gravedad. En cuanto a su porción torácica, los órganos del mediastino, especialmente el corazón, desplazan el raquis hacia atrás. Sin embargo en su porción lumbar, el raquis, que soporta entonces el peso de toda la parte superior del tronco, recupera una posición central, constituyendo una prominencia en la cavidad abdominal.

Además de la citada función de soporte del tronco, el raquis desempeña un papel **protector del eje nervioso (Fig. 4)**: el canal raquídeo que comienza a la altura del agujero occipital, alberga el bulbo raquídeo y la médula espinal, de modo que constituye un protector flexible y eficaz del citado eje nervioso. Esta protección no deja de tener su contrapartida, ya que, en ciertas condiciones y en determinados puntos, tanto el eje nervioso como los ejes raquídeos que emanan del mismo pueden entrar en conflicto, tal como se podrá ver más adelante, con su capa protectora raquídea.

La **figura 4** también muestra que el raquis está compuesto por cuatro segmentos:

- el segmento lumbar **1**, en el que las vértebras L son centrales;
- el segmento torácico **2**, o dorsal, en el que las vértebras T se desplazan hacia el plano dorsal;
- el segmento cervical **3**, en el que las vértebras C representan una posición casi central;
- el segmento sacro-coccígeo **4** formado por dos partes monobloque **S**.

El **sacro**, constituido por la fusión de cinco vértebras sacras, se integra en la cintura pélvica.

El **cóccix**, articulado con el sacro, es un residuo de la cola de la mayoría de los mamíferos. Está formado por la soldadura de 4 a 6 pequeñas vértebras coccígeas.

Por debajo de la segunda vértebra lumbar, donde se localiza el **cono medular** de la médula espinal, el canal raquídeo ya no contiene más que el ***filum* terminal interno**, que carece de función neurológica.

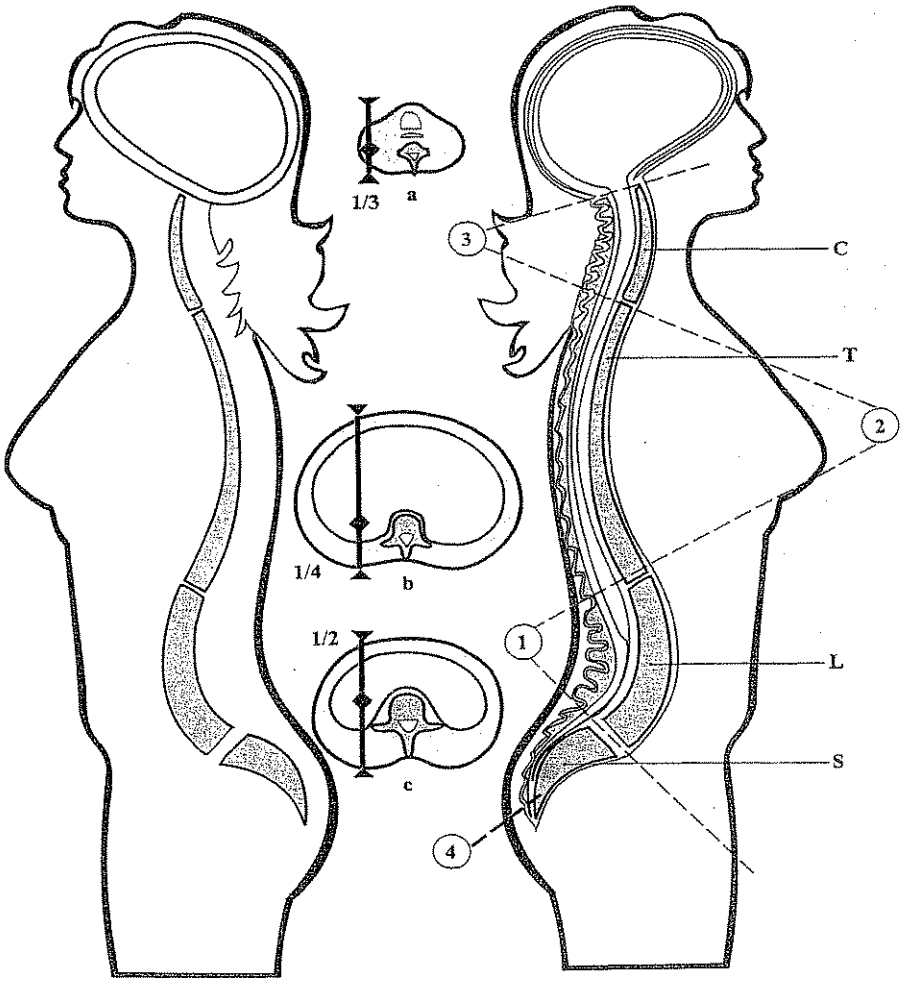


Fig. 3

Fig. 4

Las curvas del raquis en conjunto

Considerada en conjunto, la columna vertebral es rectilínea en una **visión de frente o de espaldas (Fig. 5)**. No obstante, en algunos individuos puede darse una curva transversal sin que, por ello, se pueda afirmar que se trate de una curva patológica, evidentemente siempre y cuando permanezca dentro de estrechos límites.

En esta actitud, la **línea de los hombros** s y **la línea de las fositas sacras p**, que representa la diagonal menor del rombo de Michaelis (**trazado punteado en rojo**; *véase* más adelante en la pág. 82) son paralelas y horizontales.

En cambio, **en el plano sagital (Fig. 6)** la columna vertebral presenta cuatro curvas, que son, de abajo arriba:

1. la **curva sacra 1**, fija debido a la soldadura definitiva de las vértebras sacras. Esta curva es de concavidad anterior;
2. la **curva lumbar 2**, denominada **lordosis lumbar**, de concavidad posterior, más o menos pronunciada. Cuando es el caso, se habla de **hiperlordosis lumbar** o de **ensilladura** lumbar;
3. la **curva torácica 3**, denominada también **cifosis torácica** sobre todo cuando es muy pronunciada. Presenta una convexidad posterior;
4. la **curva cervical 4** o **lordosis cervical**, de concavidad posterior, generalmente más pronunciada cuanto mayor es la cifosis torácica.

Cuando el individuo está en equilibrio normal, en bipedestación, la parte posterior del cráneo, la espalda y los glúteos son tangentes a un plano vertical; una pared, por ejemplo. La importancia de las curvas queda patente por las **flechas**, distancias entre este plano vertical y el vértice de las curvas. Estas flechas se definirán más adelante en relación a cada segmento raquídeo (*véase* la pág. 118).

Las citadas curvas se compensan de forma que el plano masticador **m**, materializado cuando se sujeta un cartón entre las arcadas dentales, sea horizontal y que la mirada **h** se dirija de forma natural hacia la línea del horizonte.

En el plano sagital, estas curvas pueden asociarse a curvas en el plano frontal, que se definen en término de superficie abovedada, comúnmente denominada **giba** o **escoliosis**.

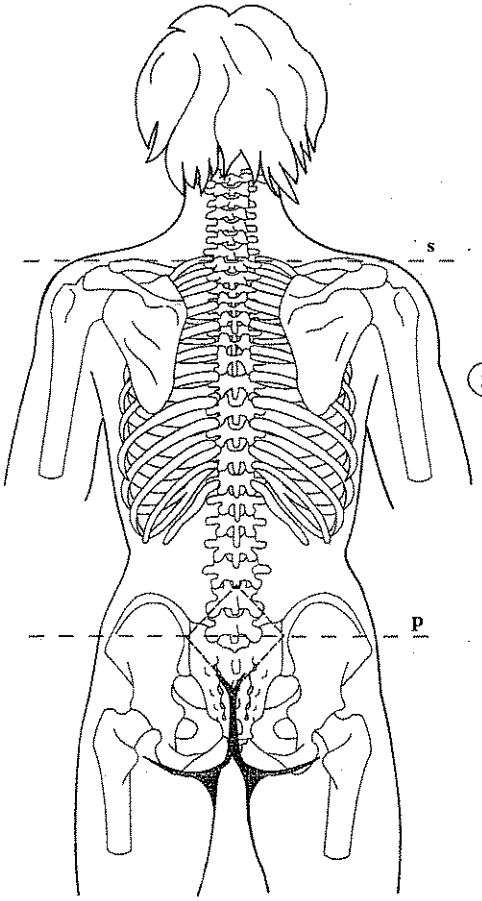


Fig. 5

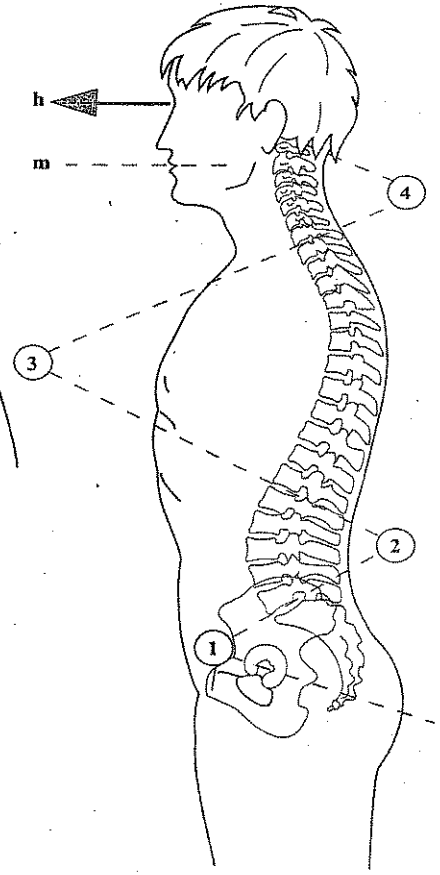


Fig. 6

La aparición de las curvas raquídeas

Durante la **filogénesis,** es decir en el transcurso de la evolución de la especie humana a partir de los prehomínidos, el paso de la cuadrupedia a la bipedestación (**Fig. 7**) indujo al enderezamiento y después a la inversión de la curva lumbar **(flechas negras)**, inicialmente cóncava hacia delante; de este modo apareció la lordosis lumbar cóncava hacia atrás. De hecho, la retroversión pélvica no "absorbió" en su totalidad el ángulo de enderezamiento del tronco; persiste cierto ángulo que la curva del raquis lumbar debe anular. Así se explica esta **lordosis lumbar** que, por otra parte, varía según los individuos, dependiendo del grado de anteversión o de retroversión de la pelvis. Simultáneamente, el raquis cervical, que se articulaba con la caja craneal por detrás, se vio progresivamente desplazado por debajo del cráneo, lo que desencadenó **la migración del *foramen magnum* hacia la base del cráneo (flecha)**.
En la posición cuadrúpeda, los cuatro miembros son portadores **(flechas azules)**, mientras que en posición bípeda, sólo el miembro inferior es portador. Este último trabaja entonces en compresión y el miembro superior, suspendido **(flecha roja)**, lo hace en elongación.
Durante la **ontogénesis,** es decir en el transcurso del desarrollo del individuo (**Fig. 8**, según TA Willis), se puede comprobar como, en el caso del raquis lumbar, se lleva a cabo la misma evolución. El primer día de vida **a**, el raquis lumbar es cóncavo hacia delante. Con cinco meses **b**, la curva sigue siendo ligeramente cóncava hacia delante; no es hasta los trece meses que **c** el raquis lumbar se hace rectilíneo. A partir de los tres años **d** se puede apreciar una ligera lordosis lumbar que se consolidará a los 8 años **e** y adoptará su curva definitiva a los 10 años **f**.
De este modo, la evolución del individuo es **paralela a la evolución de la especie**.

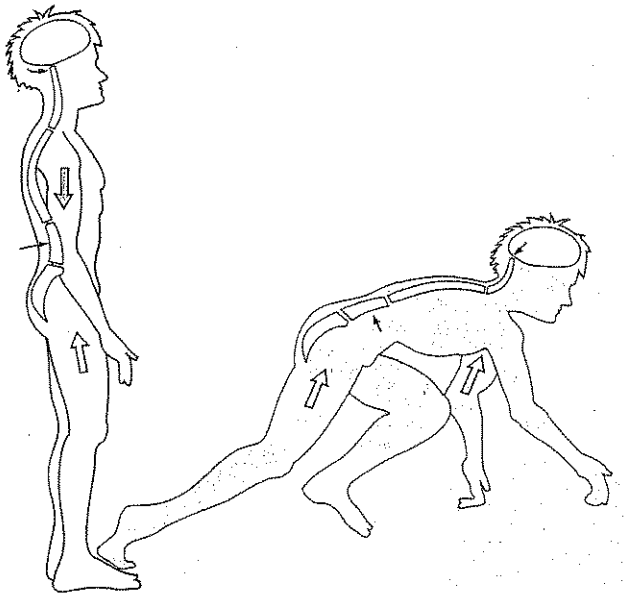


Fig. 7

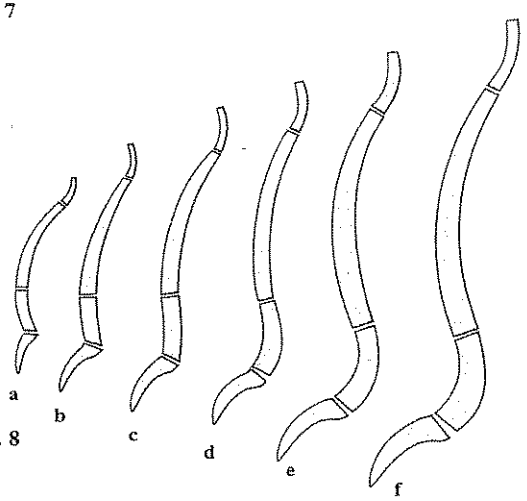


Fig. 8

Constitución de la vértebra tipo

Cuando se descompone una **vértebra tipo** en sus diferentes partes constitutivas puede constatarse que está compuesta por dos partes principales:

- el **cuerpo vertebral** por delante;
- el **arco posterior** por detrás.

En una visión **desarmada (Fig. 9)**, el **cuerpo vertebral 1** es la parte más gruesa de la vértebra: por lo general tiene una forma cilíndrica menos alta que ancha, con una cara posterior cortada.

El **arco posterior 2** tiene forma de herradura. A ambos lados de este arco posterior **(Fig. 10)** se fija el **macizo de las apófisis articulares 3 y 4**; de modo que se delimitan dos partes en el mismo **(Fig. 11)**:

- por un lado, se localizan los pedículos **8** y **9** por delante del macizo de las apófisis articulares;
- y por otro, se sitúan las láminas **10** y **11** por detrás del macizo de las apófisis articulares.

Por detrás, en la línea media, se fija la apófisis espinosa **7**. Este arco posterior así constituido, se une **(Fig. 12)** a la cara posterior del cuerpo vertebral mediante los pedículos. La vértebra completa **(Fig. 13)** contiene además de las apófisis transversas **5** y **6** que se unen al arco posterior aproximadamente a la altura del macizo de las apófisis articulares.

Esta vértebra tipo se halla en todos los niveles del raquis con, por supuesto, cambios importantes bien en el cuerpo vertebral bien en el arco posterior y generalmente, en ambas partes a la vez.

Sin embargo, es importante señalar que estas distintas partes constitutivas se corresponden en sentido vertical. De este modo, a lo largo de todo el raquis, se establecen **tres columnas (Fig. 14)**:

- por delante, una **columna principal A**, formada por el apilamiento de los cuerpos vertebrales;
- por detrás del cuerpo vertebral, dos **columnas secundarias B** y **C** constituidas por el apilamiento de las apófisis articulares.

Los cuerpos vertebrales están unidos entre sí por el disco intervertebral; mientras que las apófisis articulares lo están por articulaciones del tipo de las artrodias. En cada nivel existe un agujero vertebral delimitado por delante por el cuerpo vertebral y por detrás por el arco posterior. La sucesión de todos estos agujeros vertebrales conforma, a lo largo de todo el eje raquídeo, el **canal raquídeo 12**, formado alternativamente:

- por partes óseas, en cada vértebra;
- y por partes ligamentosas, entre las vértebras a la altura del disco intervertebral y de los ligamentos del arco posterior.

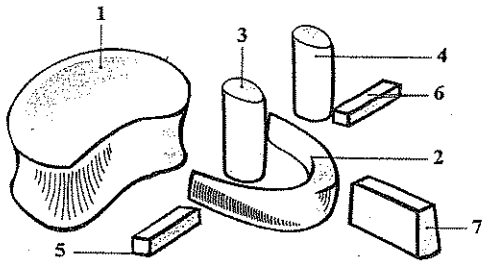


Fig. 9

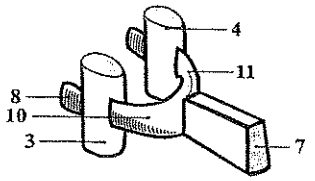


Fig. 11

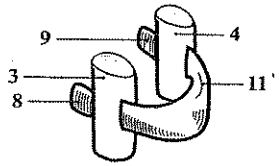


Fig. 10

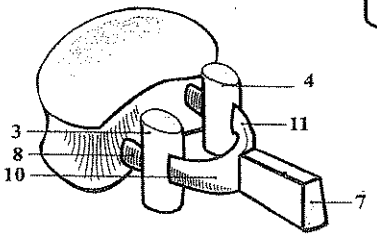


Fig. 12

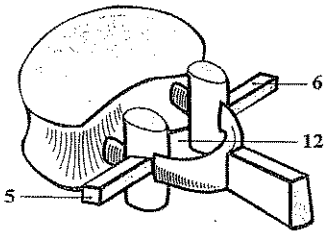


Fig. 13

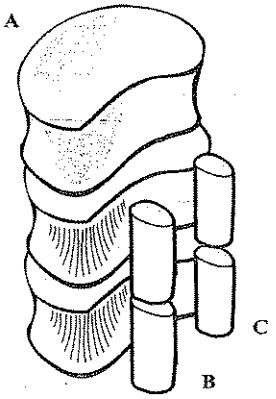


Fig. 14

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

Las curvas raquídeas

La existencia de curvas raquídeas **aumenta la resistencia del raquis** a las fuerzas de compresión axial. Los ingenieros han podido demostrar (**Fig. 15**) que la resistencia **R** de una columna con curvas es proporcional (k = factor de proporcionalidad) al cuadrado del número de curvas **N** más uno. Por lo tanto, si se toma como referencia una columna rectilínea **a**, cuyo número de curvas es igual a **O**, y se considera su resistencia como unidad; en una columna con una sola curva **b**, su resistencia es el doble de la primera. En una columna con dos curvas **c** su resistencia es cinco veces mayor que la de la columna rectilínea. Por último, en el caso de una columna con tres curvas móviles **d** como la columna vertebral con su lordosis lumbar, su cifosis torácica y su lordosis cervical, su resistencia es **diez veces** mayor que la de la columna rectilínea.

Se puede medir la importancia de las curvas raquídeas mediante el **índice raquídeo de Delmas** (**Fig. 16**). Este índice no puede medirse más que en un modelo anatómico. Consiste en la relación existente entre:

- la longitud **L** alcanzada por el raquis desde la meseta de la primera vértebra sacra hasta el atlas;
- y la altura **A** entre la meseta superior del sacro y del atlas.

Un raquis con curvas normales **a** tiene un índice de 95%; los límites máximos del raquis normal son 95 y 96%. Un raquis con curvas acentuadas **b** posee un índice de Delmas **inferior a 94%**. Esto significa que su longitud es claramente mayor que su altura. Sin embargo, un raquis con curvas poco pronunciadas **c**, es decir casi rectilíneo, posee un índice de Delmas **superior a 96%**. Esta clasificación anatómica es muy importante puesto que existe una relación entre la misma y el tipo funcional. De hecho, A. Delmas demostró que el raquis con curvas pronunciadas es de tipo funcional dinámico, con un sacro que tiende hacia la horizontal (ensilladura lumbar muy pronunciada) mientras que el raquis con curvas poco acentuadas es de tipo funcional estático, con un sacro que tiende hacia la vertical (dorso plano).

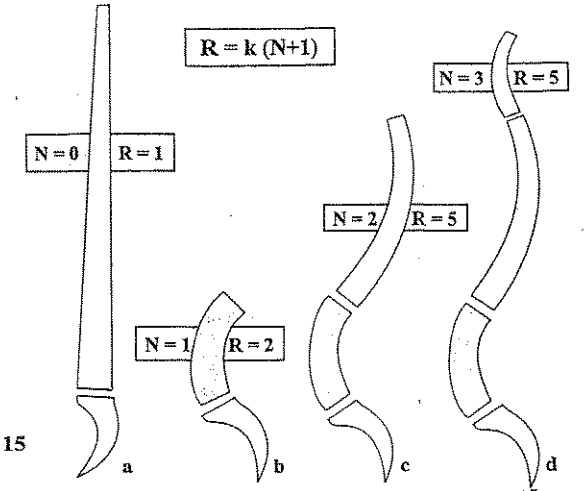
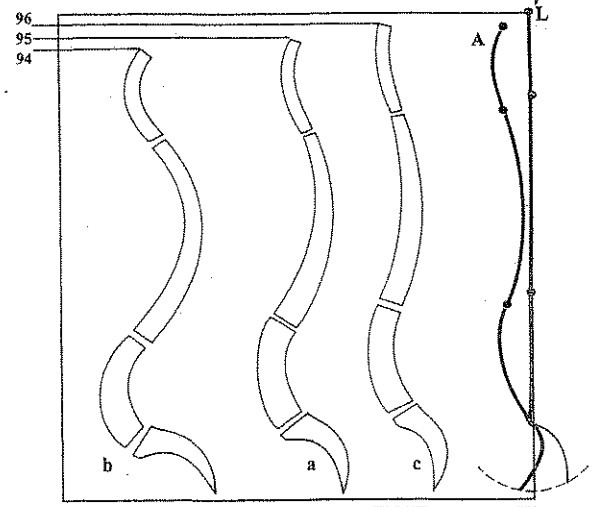


Fig. 15



Índice de curvas tipo	bajo 94	medio 96	alto
	pronunciadas	intermedias	atenuadas
	dinámico	intermedio	estático
Índice raquídeo de Delmas	A (altura) x 100 / L (longitud alcanzada)		

Fig. 16

Estructura del cuerpo vertebral

El cuerpo vertebral tiene **la estructura de un hueso corto (Fig. 17)**; es decir, una **estructura en cascarón** con una cortical de hueso denso rodeando al tejido esponjoso. La cortical de la cara superior y de la cara inferior del cuerpo vertebral se denomina **cara intervertebral** (antiguamente: meseta vertebral). Este es más espeso en su parte central donde se halla una porción cartilaginosa. La periferia forma un **reborde (Fig. 17)**, el rodete marginal **R**. Este rodete procede del punto de osificación epifisaria que tiene la forma de un anillo fibroso y se une al resto del cuerpo vertebral, sobre la meseta **M**, hacia los 14 ó 15 años de edad. Las alteraciones de osificación de este núcleo pulposo epifisario constituyen la epifisitis vertebral o la **enfermedad de Schauermann**.

En un **corte verticofrontal del cuerpo vertebral (Fig. 18)**, se puede constatar con claridad, a cada lado, corticales espesas, arriba y abajo, la meseta vertebral cubierta por una capa cartilaginosa y en el centro del cuerpo vertebral trabéculas de hueso esponjoso que se distribuyen siguiendo líneas de fuerza. Estas líneas son verticales y unen la meseta superior y la inferior, u horizontales que unen las dos corticales laterales, o también oblicuas, uniendo entonces la meseta inferior con las corticales laterales.

En **un corte sagital (Fig. 19)**, aparecen nuevamente las citadas trabéculas verticales pero, además, existen dos sistemas de fibras oblicuas denominadas fibras en **abanico**:

- por una parte **(Fig. 20)**, un abanico que se origina en la meseta superior para expandirse, a través de los dos pedículos, hacia la apófisis articular superior de cada lado y la apófisis espinosa;
- por otra parte **(Fig. 21)**, un abanico que se origina en la meseta inferior para expandirse, a través de los dos pedículos, hacia las dos apófisis articulares inferiores y la apófisis espinosa.

El cruce de estos tres sistemas trabeculares establece puntos de gran resistencia, pero también **un punto de menor resistencia**, y en particular un triángulo de base anterior donde no existen más que trabéculas verticales **(Fig. 22)**.

Esto explica la **fractura cuneiforme del cuerpo vertebral (Fig. 23)**: de hecho, ante una fuerza de compresión axial de 600 kg la parte anterior del cuerpo vertebral se aplasta: se trata de una fractura por aplastamiento. Para aplastar enteramente el cuerpo vertebral además de hacer que el **muro posterior** ceda **(Fig. 24)**, se precisa una fuerza de compresión axial de 800 kg. Este tipo de fractura representa por sí solo una amenaza para la médula espinal si invade el canal raquídeo.

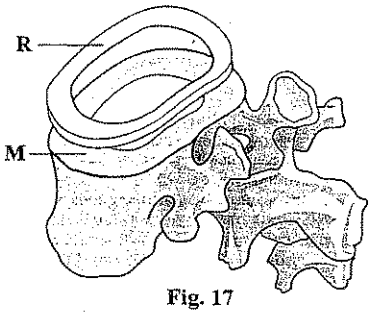


Fig. 17

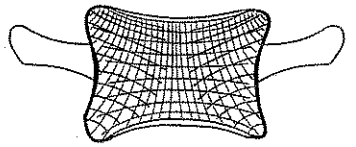


Fig. 18

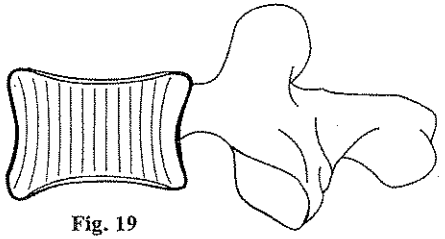


Fig. 19

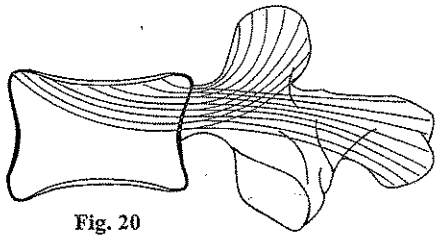


Fig. 20

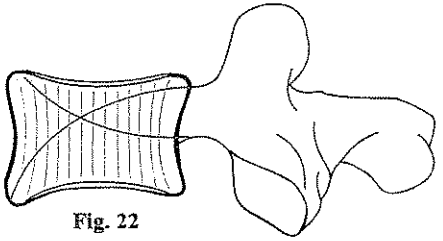


Fig. 22

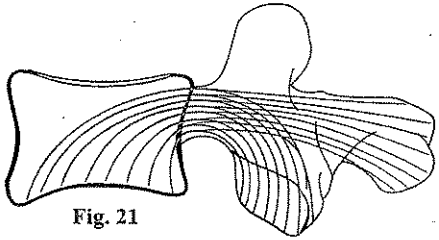


Fig. 21

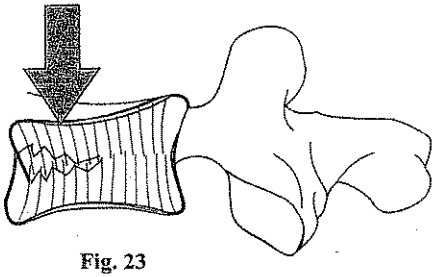


Fig. 23

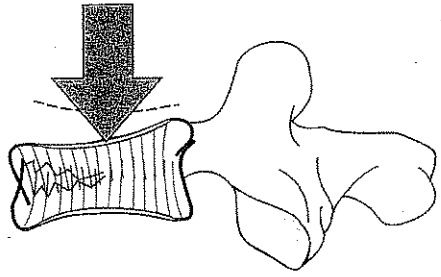


Fig. 24

Las divisiones funcionales de una vértebra

En una **visión lateral del raquis (Fig. 25, según Brueguer)** se pueden distinguir con facilidad las distintas divisiones funcionales de una vértebra:

- por delante **A** se localiza el cuerpo vertebral, que se integra en el **pilar anterior. Este pilar desempeña una** función principalmente de soporte;
- por detrás, el **arco posterior B**, sujeta las apófisis articulares, cuyo apilamiento conforma las columnas de las apófisis articulares.

Mientras que el pilar anterior desempeña una función estática, el pilar posterior desempeña una función dinámica.

En **sentido vertical**, la disposición alterna de las piezas óseas y de los elementos de unión ligamentosa permite distinguir según Schmorl, un **segmento pasivo I** constituido por la vértebra misma, y un **segmento móvil II**, en azul en la figura. Este segmento móvil comprende de delante atrás:

- el disco intervertebral;
- el agujero de conjunción;
- las articulaciones cigapofisarias;
- el ligamento amarillo y el ligamento interespinoso.

La movilidad de este segmento es responsable de los movimientos de la columna vertebral.

Existe **una relación funcional entre el pilar anterior y el pilar posterior (Fig. 26)** que queda garantizada por los **pedículos vertebrales**. Si se considera la estructura trabecular de los cuerpos vertebrales y de los arcos posteriores, se puede comparar cada vértebra a una palanca de primer grado, denominada "interapoyo", donde la articulación cigapofisaria I desempeña la función de punto de apoyo. Este sistema de palanca permite amortiguar las fuerzas de compresión axial sobre la columna: amortiguación indirecta y pasiva en el disco intervertebral 2, amortiguación indirecta y activa en los músculos de las correderas vertebrales 3, todo esto mediante las palancas que forma cada arco posterior. Por lo tanto, la amortiguación de las fuerzas de compresión **es a la vez pasiva y activa**.

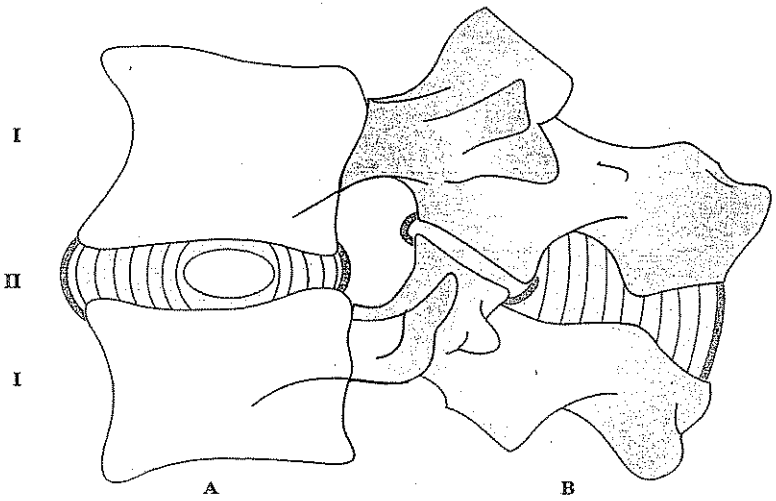


Fig. 25

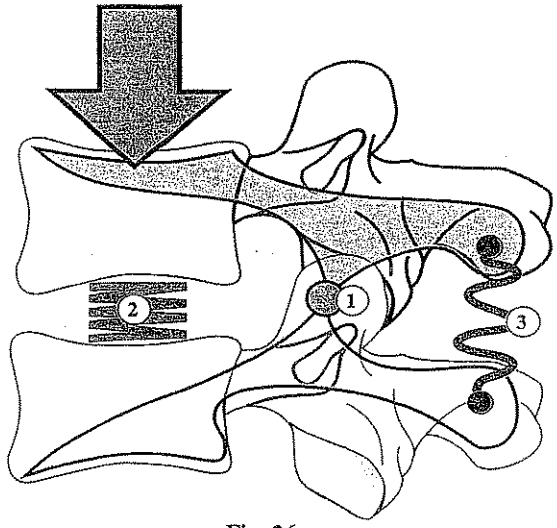


Fig. 26

Los elementos de una unión intervertebral

Entre el sacro y la base del cráneo, la columna vertebral intercala **veinticuatro piezas móviles**; numerosos elementos ligamentosos garantizan la unión entre las distintas piezas.

En un **corte horizontal (Fig. 27)** y en una visión lateral **(Fig. 28)**, pueden distinguirse los elementos fibrosos y ligamentosos:

- En primer lugar, los **anexos al pilar anterior:**
  - el **ligamento longitudinal anterior 1**, que se extiende de la base del cráneo hasta el sacro en la cara anterior de los cuerpos vertebrales;
  - el **ligamento longitudinal posterior 2**, que, en la cara posterior de los cuerpos vertebrales, se extiende de la apófisis basilar del occipital hasta el canal sacro.

Entre estos dos ligamentos de gran extensión, en cada nivel, la unión queda garantizada por el **disco intervertebral**, que consta de dos partes, una periférica, el **anillo fibroso**, constituido por capas fibrosas concéntricas 6 y 7, y otra central, el **núcleo pulposo 8**.

- Numerosos ligamentos **anexos al arco posterior** garantizan la unión entre dos arcos vertebrales adyacentes:
  - el **ligamento amarillo 3**, muy denso y resistente, que se une a su homólogo en la línea media y se inserta, por arriba en la cara profunda de la lámina vertebral de la vértebra suprayacente y, por abajo en el borde superior de la lámina vertebral de la vértebra subyacente;
  - el **ligamento interespinoso 4**, que se prolonga por detrás mediante el **ligamento supraespinoso 5**. Este ligamento supraespinoso está poco individualizado en la porción lumbar; en cambio, es muy nítido en el tramo cervical;
  - en el extremo de cada apófisis transversa se inserta, a cada lado, el **ligamento intertransverso 10**;
  - por último, en las **articulaciones cigapofisarias**, existen potentes **ligamentos capsulares 9** que refuerzan la cápsula de estas articulaciones: el ligamento anterior y el ligamento posterior.

El conjunto de estos ligamentos garantiza una unión extremadamente sólida entre las vértebras, a la par que le confiere al raquis una gran resistencia mecánica. Sólo un traumatismo grave, como una caída desde gran altura o un accidente de tráfico, podría romper estas uniones intervertebrales.

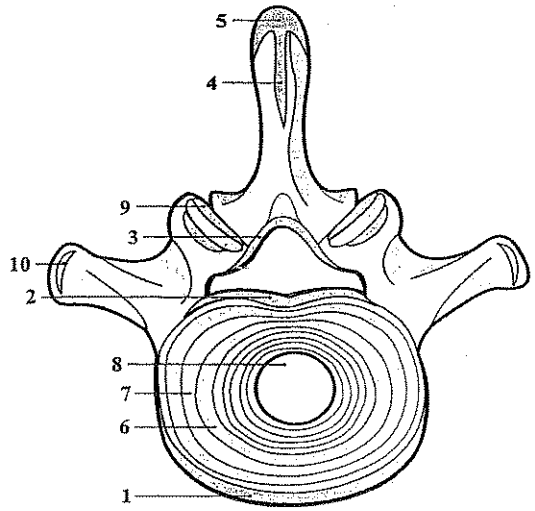


Fig. 27

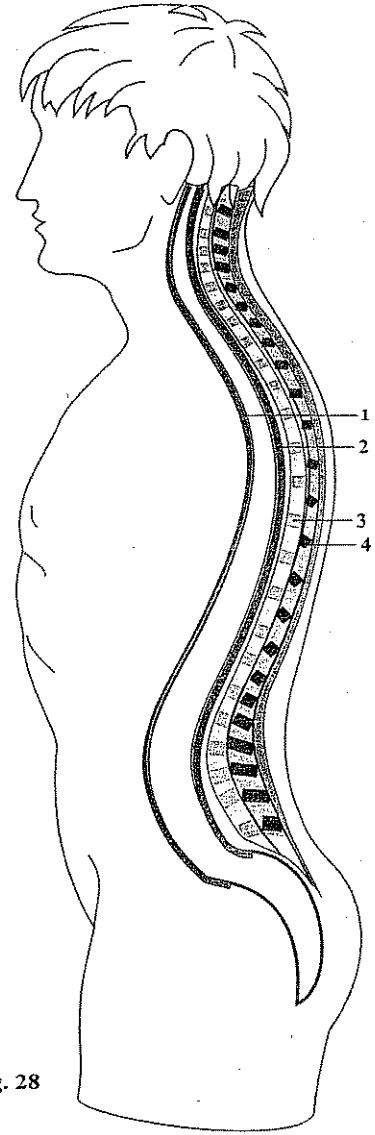


Fig. 28

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

Estructura del disco intervertebral

La articulación entre dos cuerpos vertebrales contiguos es una **anfiartrosis.** Esta constituida por las dos mesetas de las vértebras adyacentes unidas entre sí por el **disco intervertebral**. La estructura de este disco es muy característica. De hecho, consta (**Fig. 29**) de dos partes.

- Una parte central, el **núcleo pulposo** N, sustancia gelatinosa que deriva embriológicamente de la cuerda dorsal del embrión. Se trata de una gelatina transparente, compuesta por un 88% de agua y por tanto muy hidrófila, y formada químicamente por una sustancia fundamental a base de mucopolisacáridos. Se ha identificado en ella sulfato de condroitina mezclado con proteínas, cierto tipo de ácido hialurónico y querato-sulfato. Desde el punto de vista histológico, el núcleo pulposo contiene fibras colágenas y células de aspecto condrocitario, células conjuntivas y raras aglomeraciones de células cartilaginosas. No hay **vasos ni nervios** en el interior del núcleo pulposo, que, sin embargo, está tabicado por tractos fibrosos que parten de la periferia.
- Una parte periférica, el ***annulus fibrosus*** A o anillo fibroso, conformado por una sucesión de capas fibrosas concéntricas, cuya oblicuidad está cruzada cuando se pasa de una capa a la contigua, tal como se ha representado en la parte izquierda de la figura (**Fig. 30**).

En su parte derecha (**Fig. 31**), también puede constatarse que las fibras son verticales en la periferia y que, cuanto más se aproximan al centro, más oblicuas son. En el centro, en contacto con el núcleo pulposo, las fibras son casi horizontales y describen un largo trayecto helicoidal de una meseta a otra. De este modo, el núcleo pulposo se halla encerrado en un compartimento inextensible entre las mesetas vertebrales por arriba y por abajo, y el anillo fibroso. Este anillo fibroso constituye un verdadero tejido de fibras, que en el individuo joven impide cualquier exteriorización de la sustancia del núcleo pulposo. Éste **está comprimido** en su pequeño compartimento, de tal modo que cuando se secciona el disco horizontalmente se puede apreciar como brota la sustancia gelatinosa del núcleo pulposo por encima del plano de la sección. Este mismo fenómeno también se puede constatar cuando se realiza un corte sagital de la columna vertebral.

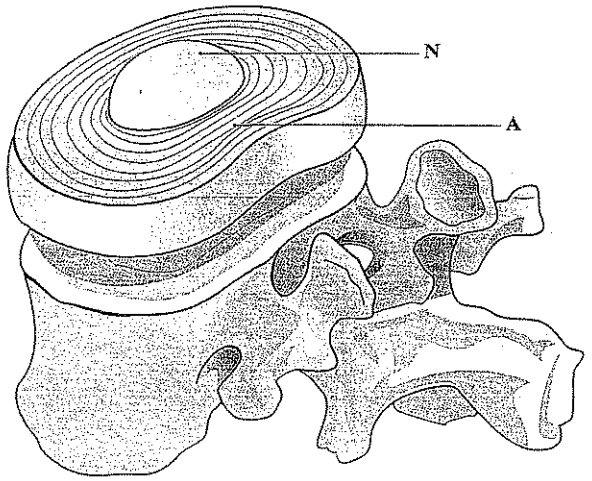


Fig. 29

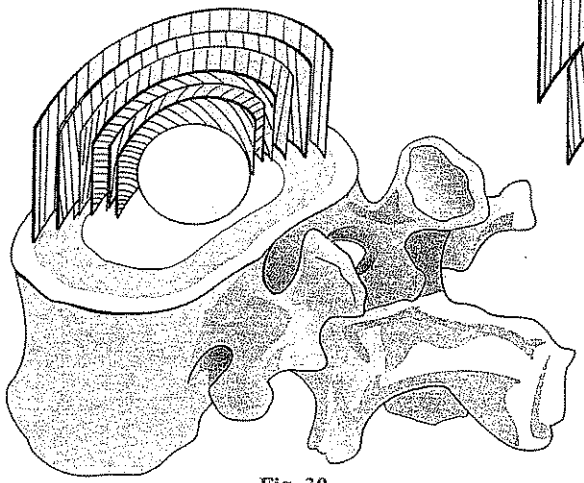


Fig. 30

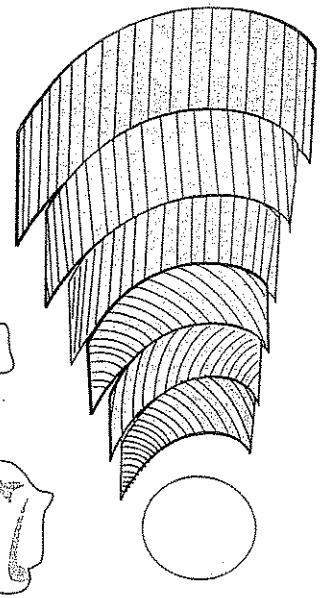


Fig. 31

El núcleo pulposo comparado a una rótula

Aprisionado bajo presión en su compartimento, entre dos mesetas vertebrales, el núcleo pulposo tiene una **forma parecida a una esfera**. Por lo tanto, en una primera aproximación, se puede considerar que el núcleo pulposo se comporta como una canica intercalada entre dos planos (**Fig. 32**). Este tipo de articulación denominada "de rótula" permite tres clases de movimiento.

- movimientos de inclinación:
  - bien inclinación en el plano sagital: en este caso se observará una flexión (**Fig. 33**) o una extensión (**Fig. 34**);
  - bien inclinación en el plano frontal: **inflexión lateral**.
- movimientos de rotación de una de las mesetas en relación a la otra (**Fig. 35**).

La realidad es mucho más compleja, ya que a estos movimientos en torno a la canica se añaden movimientos de deslizamiento o de cizallamiento de una meseta sobre la otra a través de la esfera. Y todo ello, al mismo tiempo que el núcleo pulposo se desliza ligeramente en el sentido del movimiento y se aplana del lado del que se aproximan las mesetas.

En consecuencia, durante la **flexión (Fig. 36)**, la meseta superior se desplaza ligeramente hacia delante, mientras que en la **extensión (Fig. 37)**, el desplazamiento se lleva cabo hacia detrás. Del mismo modo, durante la **inflexión lateral**, el deslizamiento se produce hacia lado de la inflexión. Durante la **rotación (Fig. 38)**, el deslizamiento de la meseta superior acontece en el lado de la rotación.

Resumiendo, este tipo de articulación ofrece pues una gran posibilidad de movimientos, exactamente seis grados de libertad:

- flexoextensión; 2:
- inclinación a cada lado; 2:
- rotación derecha - izquierda:

En total 6 desplazamientos angulares. Sin embargo, los desplazamientos lineales, deslizamiento sagital-transversal (2) no forman parte de los grados de libertad.

Aunque cada movimiento es de escasa amplitud. Los movimientos de gran amplitud sólo se pueden obtener gracias a la suma de numerosas articulaciones de este tipo. Estos movimientos complejos están condicionados tanto por la *disposición de las carillas articulares posteriores* como por la de los *ligamentos*. Es indispensable, tomar este aspecto en consideración en la concepción de las prótesis discales, actualmente en pleno desarrollo.

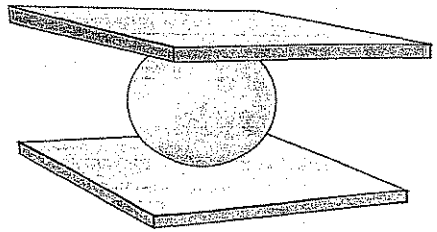


Fig. 32

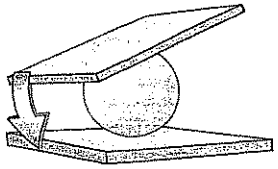


Fig. 33

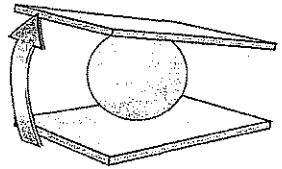


Fig. 34

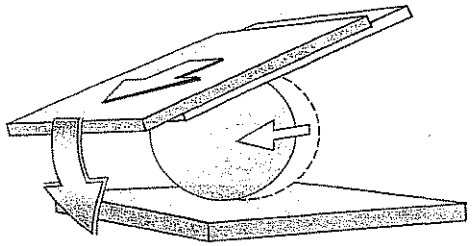


Fig. 36

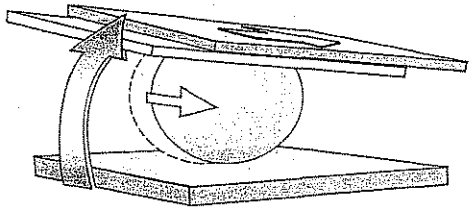


Fig. 37

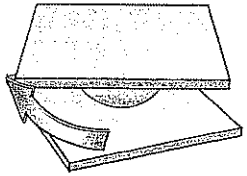


Fig. 35

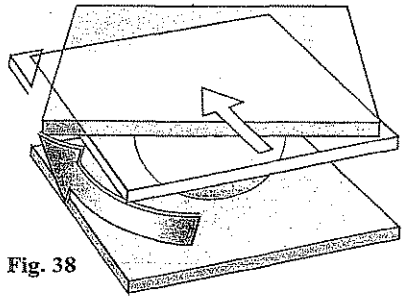


Fig. 38

El estado de precompresión del disco y la autoestabilidad de la articulación discovertebral

Las presiones ejercidas sobre el disco intervertebral son importantes, sobre todo cuanto más se aproxima al sacro.

Si se consideran en principio únicamente las fuerzas de compresión axial, se puede determinar que cuando la meseta vertebral ejerce una fuerza sobre el disco intervertebral, la presión que recibe el núcleo pulposo equivale a la mitad de la carga aumentada en un 50% y la presión ejercida sobre el anillo fibroso equivale a la otra mitad disminuida en un 50%. **El núcleo pulposo soporta pues el 75% de la carga y el anillo fibroso el 25%.** De modo que, en el caso de una presión de 20 kg, ésta se distribuye en 15 kg sobre el núcleo pulposo y 5 kg sobre el anillo fibroso. Sin embargo, el núcleo pulposo actúa como **distribuidor de la presión** en sentido horizontal sobre el anillo fibroso (**Fig. 39**). En simple bipedestación, en el disco L5-S1, la compresión vertical que se ejerce sobre el núcleo pulposo se transmite por la periferia del anillo fibroso a razón de 28 kg por centímetro lineal y de 16 kg por centímetro cuadrado. Estas fuerzas aumentan de manera considerable en cuanto se sobrecarga el raquis. En la flexión anterior del tronco, la presión por centímetro cuadrado asciende a **58 kg** mientras que la fuerza por centímetro lineal alcanza los **87 kg**. Durante el enderezamiento estas cifras aumentan hasta **107 kg/cm²** y **174 kg** por centímetro lineal. Las presiones pueden alcanzar valores todavía más altos si el enderezamiento se lleva a cabo con una carga. En este caso, las citadas presiones se aproximan a los valores del punto de ruptura.

La presión en el centro del núcleo pulposo no es nula, incluso cuando el disco no soporta carga alguna. Esta presión se debe al estado de hidrofilia, que hace que se hinche dentro de su compartimento inextensible. De este modo se crea un estado de "**pretensión**". En la tecnología de las estructuras de hormigón armado, se denomina pretensión a un estado de tensión previa creado en una viga que debe soportar una carga. Si se carga una viga homogénea (**Fig. 40**) con un peso, se puede observar como adopta una incurvación de valor **f1** denominada flecha.

Si ahora se considera una viga (**Fig. 41**), en cuya parte inferior se ha introducido un cable metálico tensado fuertemente entre los dos extremos **T** y **T'** del mismo, se habrá constituido una **viga pretensada** que con el mismo peso se deformará una flecha f2 claramente inferior a la flecha **f1**.

La pretensión del disco intervertebral le permite, de igual modo, resistir mejor las fuerzas de compresión y de inflexión. Cuando, con la edad, el núcleo pulposo pierde sus propiedades hidrófilas, su presión interna disminuye y el **estado de pretensión tiende a desaparecer**, lo que explica la pérdida de flexibilidad del raquis senil.

Cuando un disco está expuesto a una presión axial asimétrica **F** (**Fig. 42**), la meseta vertebral superior sufre una inflexión hacia el lado con más carga, desplazándose un ángulo de oscilación **a**. Así, la fibra **AB'** estará tensa en la posición **AB**, aunque, simultáneamente, la presión máxima del núcleo pulposo del lado de la flecha va a ejercerse sobre esta fibra **AB** de modo que la devuelva a la posición **AB'**, enderezando así la meseta superior y devolviéndolo a su posición inicial. Este **mecanismo de autoestabilidad** está ligado al estado de pretensión. Obsérvese pues que el anillo fibroso y el núcleo pulposo forman juntos una **pareja funcional** cuya eficacia depende de la integridad de ambos elementos. Si la presión interna del núcleo pulposo disminuye o si la capacidad de contención del anillo fibroso desaparece, esta pareja funcional pierde inmediatamente su eficacia.

El estado de pretensión explica también las **reacciones elásticas del disco**, demostradas por el experimento de Hirsch (**Fig. 43**): cuando, sobre un disco previamente cargado **P** se agrega **bruscamente** una **sobrecarga S**, puede observarse cómo el espesor del disco pasa por un mínimo y luego por un máximo, siguiendo una curva oscilante, que se amortigua al instante. Si la sobrecarga es excesiva, la intensidad de esta reacción oscilante puede llegar a destruir las fibras del anillo fibroso. Así se explica el deterioro del disco tras sufrir repetidas fuerzas violentas.

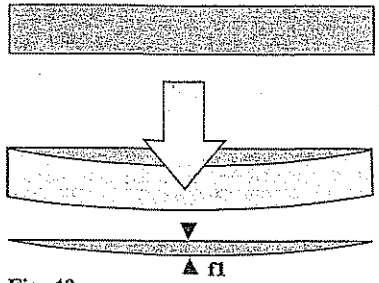


Fig. 40

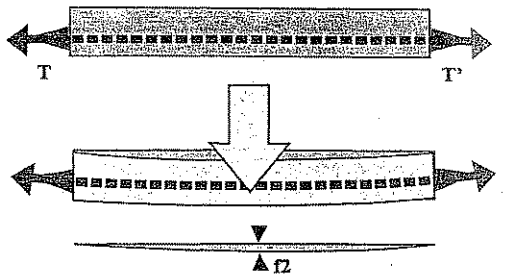


Fig. 41

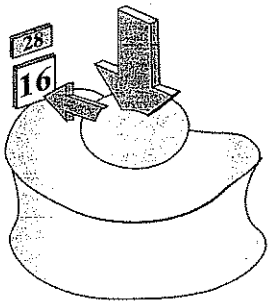


Fig. 39

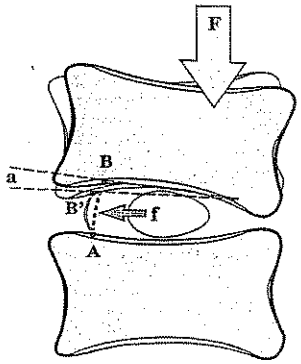


Fig. 42

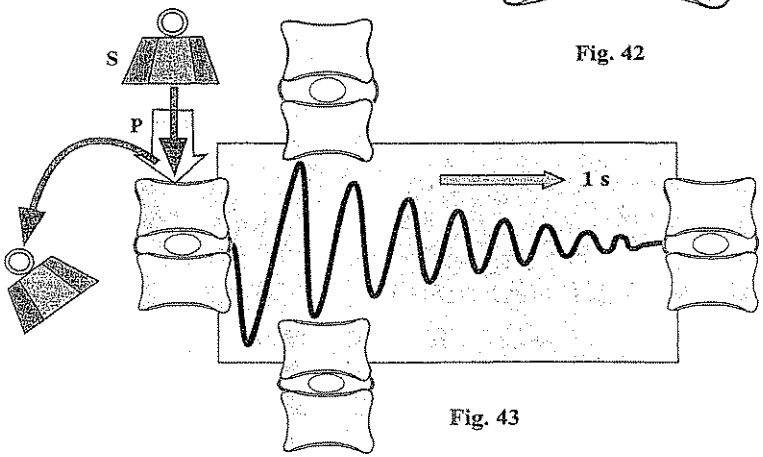


Fig. 43

La migración de agua en el núcleo pulposo

El núcleo pulposo reposa en la parte central de la meseta vertebral, parte cartilaginosa, pero con numerosos poros microscópicos que comunican el compartimento del núcleo pulposo con el tejido esponjoso situado bajo la meseta vertebral. Cuando se ejerce **una presión importante** sobre el eje del raquis, como es el caso de la influencia del peso del cuerpo en bipedestación (**Fig. 44**), el agua que contiene la sustancia cartilaginosa del núcleo pulposo pasa a través de los orificios de la meseta vertebral hacia el centro de los cuerpos vertebrales: se **trata de la salida de agua fuera del núcleo pulposo**. Si se mantiene esta presión estática durante todo el día, a últimas horas de la noche, el núcleo pulposo está claramente menos hidratado que al inicio de la mañana: se puede entonces deducir que el espesor del disco ha disminuido sensiblemente d. Para un individuo normal, esta pérdida de grosor acumulado sobre la altura total del raquis puede alcanzar los 2 cm.

Por el contrario, en el transcurso de la noche, en decúbito supino (**Fig. 45**) los cuerpos vertebrales ya no sufren la presión axial ejercida por la acción de la gravedad, sino únicamente la del tono muscular, muy relajado asimismo por el sueño. En **este periodo de descarga**, la hidrofilia del núcleo pulposo atrae el agua que retorna de los cuerpos vertebrales hacia el citado núcleo pulposo. El disco recobra entonces su grosor inicial d. De modo que el **ser humano es más alto por la mañana que por la noche**. Al ser el estado de precompresión más acentuado por la mañana que por la noche, la flexibilidad raquídea también es mayor al comienzo de la jornada.

La presión de imbibición del núcleo pulposo es considerable, ya que, según Charnley, puede alcanzar los 250 mmHg. **Con la edad, este estado de imbibición disminuye** al tiempo que la hidrofilia, provocando una disminución del estado de precompresión. Esto explica la disminución tanto de estatura como de flexibilidad raquídea en los ancianos.

Hirsch demostró que aplicando una carga constante sobre un disco vertebral (**Fig. 46**) la disminución del grosor del disco no es lineal sino exponencial (**primera parte de la curva**), lo que sugiere un proceso de deshidratación proporcional al volumen del núcleo pulposo. Cuando se retira la carga, el disco recupera su grosor inicial, pero, también en este caso, la curva no es lineal sino exponencial inversa (**segunda parte de la curva**), y la restauración total del grosor inicial del disco requiere cierto tiempo **T**. Si estas cargas y descargas del disco se repiten con demasiada asiduidad, el disco no tiene tiempo de recobrar su grosor inicial. Igualmente, si las cargas y descargas se repiten de manera demasiado prolongada, aunque se espere el tiempo necesario de recuperación, **el disco no recupera su grosor inicial**. En este caso se constata un fenómeno de **envejecimiento del disco intervertebral**.

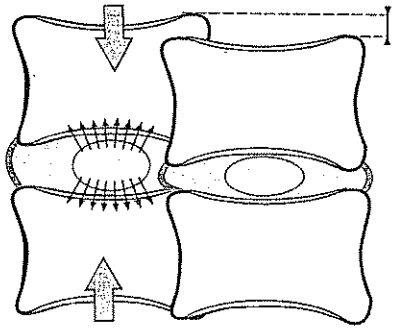


Fig. 44

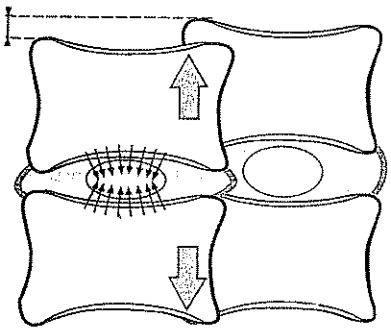


Fig. 45

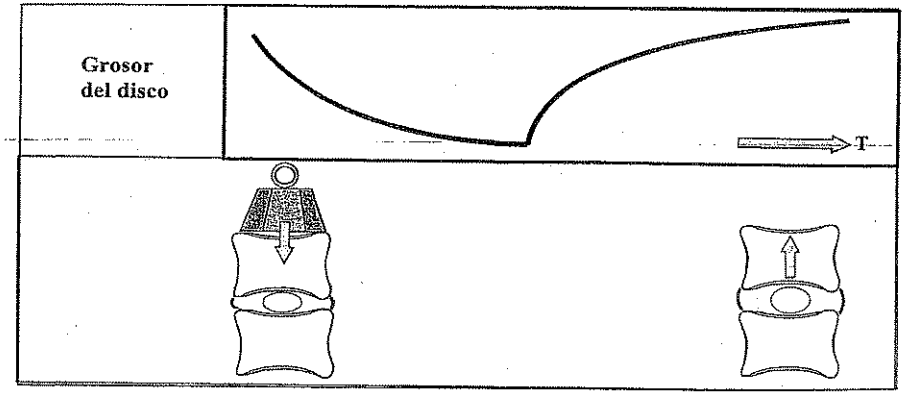


Fig. 46

Las fuerzas de compresión sobre el disco

Las fuerzas de compresión sobre el disco son tanto más importantes a medida que se aproximan al sacro. Esto es comprensible dado que **el peso del cuerpo que se soporta** aumenta con la altura suprayacente (**Fig. 47**). En el caso de un hombre de 80 kilos se calcula que la cabeza pesa 3 kg, los miembros superiores 14 kg y el tronco 30 kg. Si se estima que a la altura del disco L5-S1, el raquis soporta tan solo 2/3 del peso del tronco, aún así se alcanza una carga de 37 kg, o sea aproximadamente la mitad del peso del cuerpo **P**. A esto se añade el tono de los músculos paravertebrales **M1** y **M2** necesario para mantener la estática y la erección del tronco. Si además se añade, el soporte de carga **E** y la intervención de una sobrecarga brusca **S**, se puede comprender perfectamente que los discos más inferiores del raquis lumbar estén sometidos a fuerzas que sobrepasan a veces su resistencia, sobre todo en las personas mayores.

La disminución de la altura del disco no es la misma según el disco esté sano o lesionado. Considerando un disco sano en reposo (**Fig. 48**), con una carga de 100 kg, se puede observar como se aplasta **1,4 mm**, al tiempo que se ensancha (**Fig. 49**). Si ahora se aplica a un disco ya lesionado la misma carga de 100 kg, la altura disminuye **2 mm** (**Fig. 50**), y se comprueba que tras haber retirado la carga, la recuperación de su grosor inicial es incompleta.

Este aplastamiento progresivo del disco lesionado no deja de repercutir en las articulaciones cigapofisarias:

- cuando el espesor del disco es normal (**Fig. 51**), las relaciones de las superficies cartilaginosas a nivel de las articulaciones cigapofisarias son normales: la interlínea es paralela y regular;
- cuando la altura del disco disminuye (**Fig. 52**), las relaciones articulares cigapofisarias se alteran y la interlínea se entreabre hacia atrás.

Esta distorsión articular es en sí misma y a la larga un factor de **artrosis raquídea.**

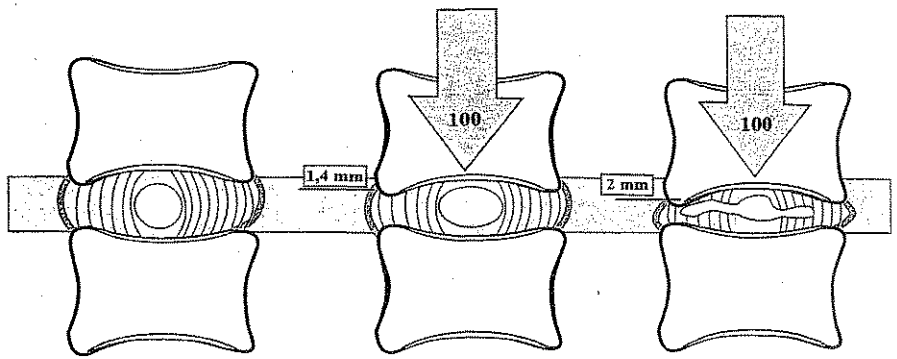


Fig. 48 Fig. 49 Fig. 50

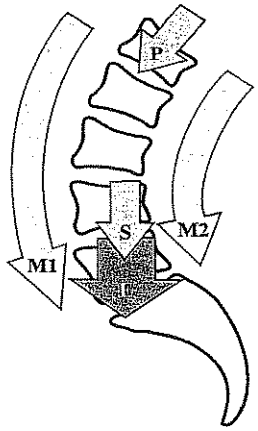


Fig. 47

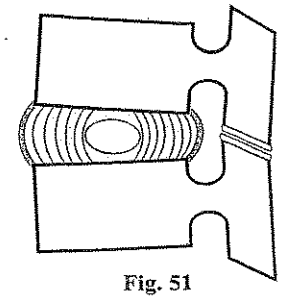


Fig. 51

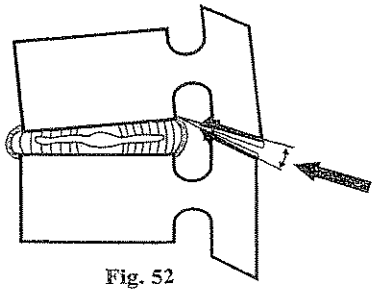


Fig. 52

Variaciones del disco según el nivel

El grosor del disco no es el mismo en todos los niveles raquídeos:

- es en el raquis lumbar (**Fig. 55**) donde el disco es más grueso puesto que mide **9 mm** de altura;
- en el raquis torácico (**Fig. 54**), mide **5 mm** de espesor;
- en el raquis cervical (**Fig. 53**), su grosor es de **3 mm**.

Pero mucho más importante que su altura absoluta es la noción de **proporción de disco** en relación a la altura del cuerpo vertebral. De hecho, esta proporción da perfecta idea de la movilidad del segmento raquídeo, ya que se constata que cuanto más grande es más importante es su movilidad. En orden decreciente se puede constatar que:

- el raquis cervical (**Fig. 53** y **Fig. 56**) es el más móvil puesto que posee una relación disco-corpórea de 2/5;
- a continuación está el raquis lumbar (**Fig. 55** y **Fig. 58**) un poco menos móvil que el cervical y que posee una relación disco-corpórea de 1/3;
- por último, el menos móvil de los tres segmentos del raquis es el torácico (**Fig. 54** y **Fig. 57**); su relación disco-corpórea es de 1/5.

En **cortes sagitales** de los diferentes segmentos del raquis, se puede observar que el núcleo pulposo no se localiza exactamente en el centro del disco; si se divide el espesor anteroposterior del disco en diez partes iguales el núcleo pulposo se sitúa:

- en el caso del **raquis cervical** (**Fig. 56**) a 4/10 del borde anterior y a 3/10 del borde posterior, ocupando él mismo el 3/10. Su situación corresponde exactamente al eje de movilidad (**flecha azul**);
- en el caso del **raquis torácico** (**Fig. 57**), la localización del núcleo pulposo es la misma en relación tanto al borde anterior como al borde posterior del disco. El núcleo pulposo en sí ocupa 3/10, pero su situación en relación al eje de movilidad se desplaza hacia atrás: la **flecha azul** que representa el citado eje pasa claramente por delante del núcleo pulposo;
- en el caso del **raquis lumbar** (**Fig. 58**), el núcleo pulposo se localiza a 4/10 del borde anterior del disco y a 2/10 del borde posterior, pero él sólo ocupa 4/10; es decir una superficie mayor que corresponde a fuerzas axiales más importantes. Como en el caso del raquis cervical, su situación corresponde exactamente a la del eje de movilidad (**flecha azul**).

Para Leonardi, el centro del núcleo pulposo **se localiza a igual distancia del borde anterior de la vértebra que del ligamento amarillo**. Corresponde manifiestamente a un punto de equilibrio, como si la potencia de los ligamentos posteriores "atrajese" al núcleo pulposo hacia atrás.

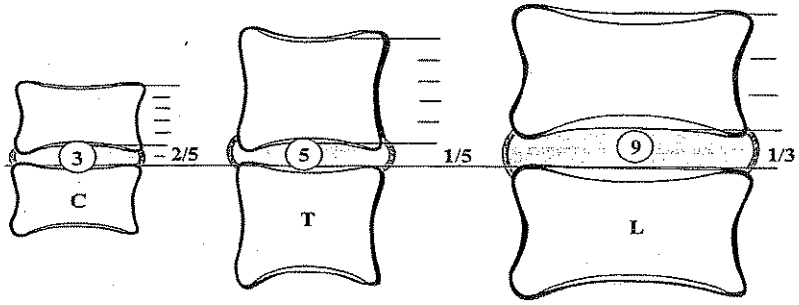


Fig. 53 Fig. 54 Fig. 55

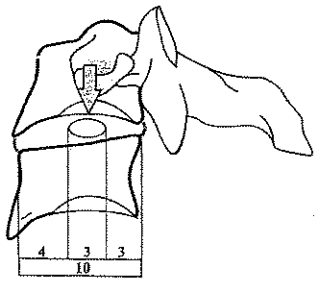


Fig. 56

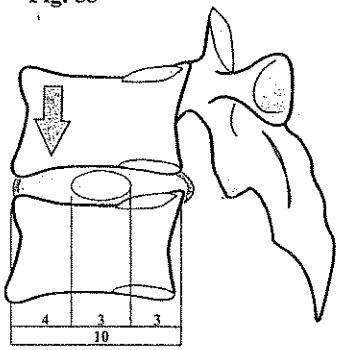


Fig. 57

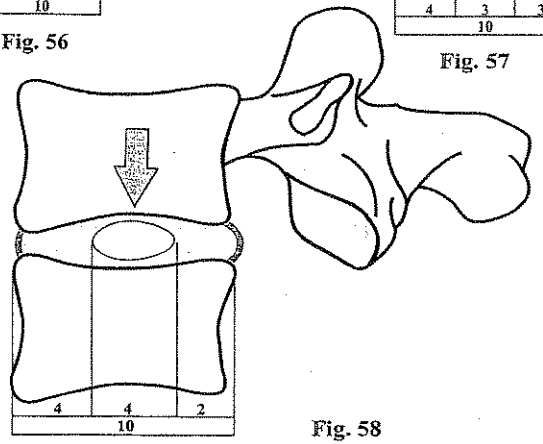


Fig. 58

Comportamiento del disco intervertebral en los movimientos elementales

Se van a considerar en primer lugar los movimientos en el eje del raquis. Antes de cualquier esfuerzo (Fig. 59) se ha podido comprobar con anterioridad que existe una tensión previa en las fibras del anillo fibroso 3, bajo presión del núcleo pulposo 2, definiendo el estado de **pretensión**.

- Cuando se ejerce sobre el disco una **fuerza de tracción axial (Fig. 60, flechas rojas)**, las mesetas vertebrales 1 tienden a separarse, lo que aumenta el grosor del disco; al tiempo, su anchura disminuye y la tensión de las fibras del anillo fibroso aumenta. El núcleo pulposo que en estado de reposo está ligeramente aplastado, adquiere una forma más esférica. La elongación disminuye la presión en el interior del núcleo pulposo, lo que constituye la base del tratamiento de las hernias discales por tracción vertebral: tirando del eje del raquis, la sustancia gelatinosa de la hernia discal se reintegra a su compartimento original en el núcleo pulposo. No obstante, no siempre se obtiene este resultado y se puede imaginar que, bajo el efecto de la tensión de las fibras centrales del anillo fibroso, la presión interna del núcleo pulposo aumenta.
- Cuando se ejerce una **fuerza de compresión axial (Fig. 61, flechas azules)**, el disco se aplasta y se ensancha, el núcleo pulposo se aplana, su presión interna aumenta de manera notable y se transmite lateralmente hacia las fibras más internas del núcleo pulposo; de este modo, la presión vertical se transforma en fuerzas laterales y la tensión de las fibras del anillo fibroso aumenta.
- Durante los movimientos de **extensión (Fig. 62, flecha roja)** la vértebra superior se desplaza hacia atrás, el espacio intervertebral disminuye por atrás y el núcleo pulposo se proyecta hacia delante **(flecha azul)**, de modo que se desplaza hacia las fibras anteriores del anillo fibroso aumentando su tensión tirando de la vértebra superior hacia su posición inicial.
- Durante la **flexión (Fig. 63, flecha azul)** la vértebra superior se desliza hacia delante y el espacio intervertebral disminuye en el borde anterior; el núcleo pulposo se desplaza hacia atrás **(flecha azul)** de modo que se sitúa sobre las fibras posteriores del anillo fibroso aumentando la tensión del mismo. Aparece nuevamente el mecanismo de **autoestabilización** debido a la acción conjugada de la pareja núcleo pulposo-anillo fibroso.
- Durante las fuerzas de **inflexión lateral (Fig. 64)** la vértebra superior se inclina hacia el lado de la inflexión **(flecha azul)**, el núcleo pulposo se ve entonces desplazado hacia el lado de la convexidad de la curva **(flecha azul)**, de ahí la autoestabilización.
- Durante los movimientos de **rotación axial (Fig. 65, flechas azules)** las fibras del anillo fibroso, cuya oblicuidad se opone al sentido del movimiento de la rotación, se tensan. Por el contrario, las fibras de las capas intermedias, cuya oblicuidad es inversa, se distienden. La tensión es máxima en las capas centrales cuyas fibras son las más oblicuas; en este caso, el núcleo pulposo está fuertemente comprimido y su tensión interna aumenta proporcionalmente con el grado de rotación. Se entiende entonces que el movimiento que asocia la flexión y la rotación axial tienda a desgarrar el anillo fibroso al tiempo que, aumentando su presión, expulse el núcleo pulposo hacia atrás a través de las fisuras del anillo fibroso.
- Durante **las fuerzas estáticas sobre una vértebra ligeramente oblicua (Fig. 66)** la fuerza vertical **(flecha azul)** se descompone en:
  - una **fuerza perpendicular** a la meseta vertebral inferior **(flecha azul)**;
  - y una **fuerza paralela** a esta meseta vertebral **(flecha roja)**.

La fuerza vertical encaja la vértebra superior sobre la inferior, mientras que la fuerza tangencial hace que se deslice hacia delante, tensando así las fibras oblicuas alternativamente en cada capa fibrosa.

Resumiendo, se puede constatar que, sea cual sea la compresión ejercida sobre el disco intervertebral, ésta se traduce siempre **por un incremento de la presión interna del núcleo pulposo y un aumento de la tensión de las fibras del anillo fibroso**; pero merced al desplazamiento relativo del núcleo pulposo, la puesta en tensión de las fibras es diferente, lo que tiende a situar el sistema en su posición inicial.

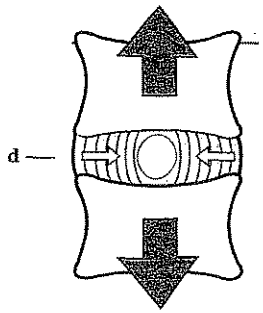


Fig. 60

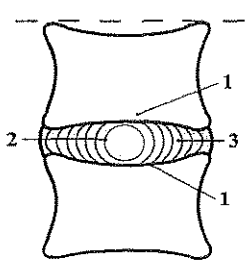


Fig. 59

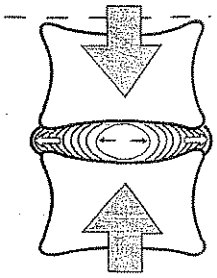


Fig. 61

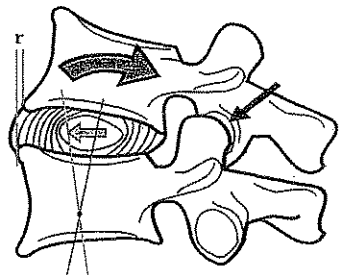


Fig. 62

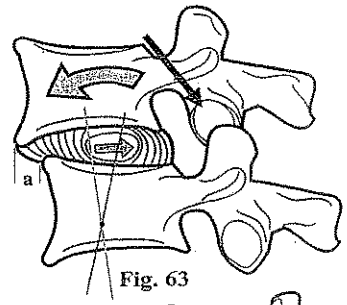


Fig. 63

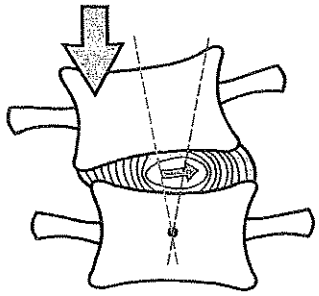


Fig. 64

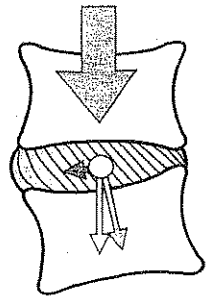


Fig. 66

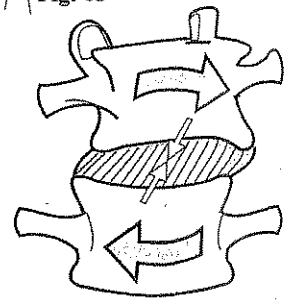


Fig. 65

Rotación automática del raquis durante la inflexión lateral

Cuando el raquis se flexiona lateralmente, se puede constatar como los cuerpos vertebrales giran sobre sí mismos de modo que su línea media anterior se desvía hacia la convexidad de la curva. Esto se puede observar con claridad en **una radiografía de frente tomada en inflexión lateral** (Fig. 67): las imágenes de los cuerpos vertebrales pierden su simetría y la línea de las espinosas (**a trazos azules gruesos**) se desplaza hacia la concavidad.

En la figura se ha dibujado una vértebra de acuerdo con su aspecto osteológico para que se pueda entender su orientación y permitir la interpretación de los aspectos radiológicos. En una **visión superior** (**Fig. 68 A**), se puede constatar como, en esta posición de rotación, la apófisis transversa de la concavidad se proyecta en todo su tamaño, mientras que la apófisis transversa de la convexidad se proyecta en tamaño reducido. Además, las interlíneas cigapofisarias de la convexidad son atravesadas por el haz radiológico (**Fig. 68 B**) mientras que las apófisis articulares de la concavidad se proyectan de frente, al igual que el pedículo vertebral.

¿Cómo explicar esta rotación automática de los cuerpos vertebrales? Principalmente por dos mecanismos:

- la compresión de los discos;
- y la puesta en tensión de los ligamentos.

El efecto de la compresión de los discos se evidencia gracias a un **modelo mecánico** fácil de realizar (**Fig. 69**):

- se cogen unos cuantos tapones de corcho para cortar en forma de cuña y caucho de espuma que también se cortará en cuña para construir los discos intervertebrales;
- se pegan unidos y;
- sobre su cara anterior, se traza una línea media.

Basta entonces con inclinar el modelo hacia un lado para apreciar la rotación de los cuerpos vertebrales del lado opuesto, perfectamente constatable merced a la separación de los distintos segmentos de la línea media de una vértebra a otra. La inflexión lateral incrementa la presión en el disco del lado de la concavidad; como el disco en sí mismo es cuneiforme, su sustancia comprimida tiende a escaparse por el lado más abierto; es decir hacia la convexidad, de ahí la rotación.

Esta sobrepresión se materializa en la **figura 68 A con el signo +** y la **flecha** indica el sentido de la rotación.

Por un mecanismo inverso, los ligamentos de la convexidad que se hallan en tensión debido a la inflexión lateral tienden a desplazarse hacia la línea media buscando el camino más corto. Esto queda patente en la **figura 68 A por el signo -** a nivel de un ligamento intertransverso y la **flecha** indica la dirección del movimiento.

Hay que recalcar que estos dos mecanismos son sinérgicos y contribuyen, cada uno a su manera, a la rotación en el mismo sentido de los cuerpos vertebrales.

Esta rotación es fisiológica, pero, en ciertos casos, determinadas alteraciones de la estática vertebral causadas tanto por una mala distribución de las tensiones ligamentosas como por desigualdades del desarrollo determinan **una rotación permanente de los cuerpos vertebrales**. En este caso, existe una escoliosis que asocia una incurvación o una inflexión permanente del raquis con una rotación de los cuerpos vertebrales.

El examen clínico puede revelar esta rotación. De hecho:

- en un individuo normal (**Fig. 70**), la flexión anterior del tronco determina un perfil simétrico en relación a la columna vertebral;
- en un individuo escoliótico (**Fig. 71**) la flexión anterior del tronco determina un perfil asimétrico con una **joroba torácica** prominente del lado de la convexidad de la incurvación raquídea.

Esto no representa más que la rotación permanente de los cuerpos vertebrales. De este modo, el fenómeno fisiológico transitorio de la rotación automática de los cuerpos vertebrales ha pasado a ser patológico al asociarse permanentemente a la incurvación del raquis, lo que caracteriza a la escoliosis. A continuación, como el individuo es joven, el crecimiento desigual de los cuerpos vertebrales va fijando la deformidad.

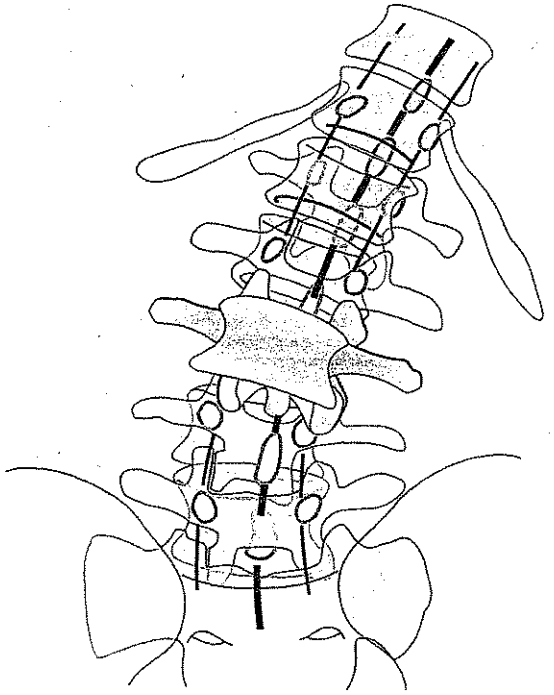


Fig. 67

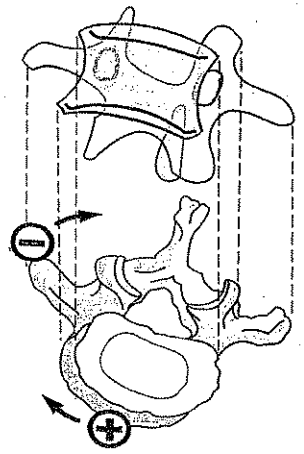


Fig. 68

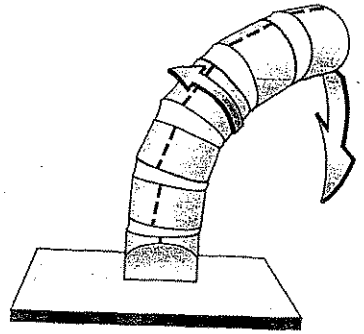


Fig. 69

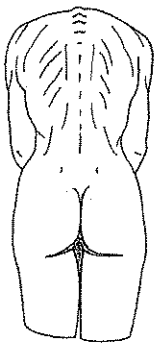


Fig. 70

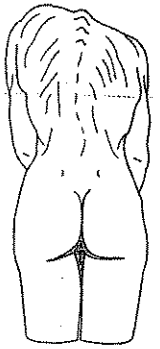


Fig. 71

Amplitudes globales de la flexoextensión del raquis

Considerado en conjunto **entre el sacro y el cráneo**, el raquis constituye el equivalente de **una articulación de tres grados de libertad**. Permite movimientos de:

- flexoextensión;
- inclinación lateral a izquierda y derecha;
- y rotación axial.

Se trataría del equivalente de una enartrosis interpuesta entre el sacro y el cráneo.

Las amplitudes de estos distintos movimientos elementales, aunque muy escasa en cada nivel del raquis, son globalmente muy importantes en razón del número de articulaciones vertebrales: (**veinticinco en total**, la articulación sacrococcígea no incluida).

Los movimientos de flexoextensión se efectúan en el plano sagital (**Fig. 72**). La referencia a nivel del cráneo es el **plano masticatorio**, que se puede imaginar con facilidad como una hoja de cartón fuertemente apretada entre las mandíbulas. El ángulo formado por el plano masticador entre las dos posiciones extremas **At** en un individuo normal es de 250°. Esta amplitud debe considerarse si se toma en cuenta que el resto de las articulaciones del cuerpo no tienen más que 180° de amplitud máxima.

Evidentemente, ésta amplitud sólo concierne a sujetos normalmente flexibles: un individuo joven (**Fig. 73**) capaz de hacer el puente. Es mucho más fácil, a cualquier edad (**Fig. 74**) plegarse en flexión. Sin embargo, en algunos acróbatas, hombre o mujer, que pueden introducir la cabeza entre los muslos, las amplitudes pueden ser mucho mayores.

Las amplitudes segmentarias sólo pueden medirse en radiografías de perfil.

- en el **raquis lumbar**, la **flexión (flecha azul)** es de 60° y la extensión **(flecha roja)** es de 20°;
- para el conjunto del **raquis toracolumbar** la **flexión** es de **105°** y **la extensión** es de **60°**;
- en el **raquis torácico**, las amplitudes propias pueden calcularse restando, siendo **Ft** = 45° en el caso de la flexión y **Et** = 40° en el caso de la extensión;
- en el **raquis cervical** (**Fig. 75**), la amplitud se mide entre la meseta superior de la 1ª vértebra torácica y el plano masticatorio. Es de 60° en el caso de la extensión y de **40° en el de la flexión**, es decir una amplitud total próxima a los 100°.

En cuanto a las amplitudes totales del raquis, las flechas dobles y negras establecen la correspondencia entre las líneas de referencia.

Por lo tanto, la **flexión total del raquis Fto** es de 110°, mientras que la **extensión total del raquis Eto** es de 140°. La suma de esta estos cifras proporciona la amplitud total **Ato** de 250°, lo que sobrepasa ampliamente los 180 °, que representa el límite en todas las otras articulaciones.

Estas cifras son a título orientativo; los autores todavía no se han puesto de acuerdo sobre la amplitud de los distintos segmentos del raquis. Por otra parte, estas amplitudes varían considerablemente según los individuos y la edad. De modo que aquí se han expuesto las **amplitudes máximas**.

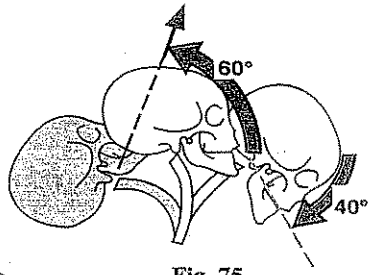


Fig. 75

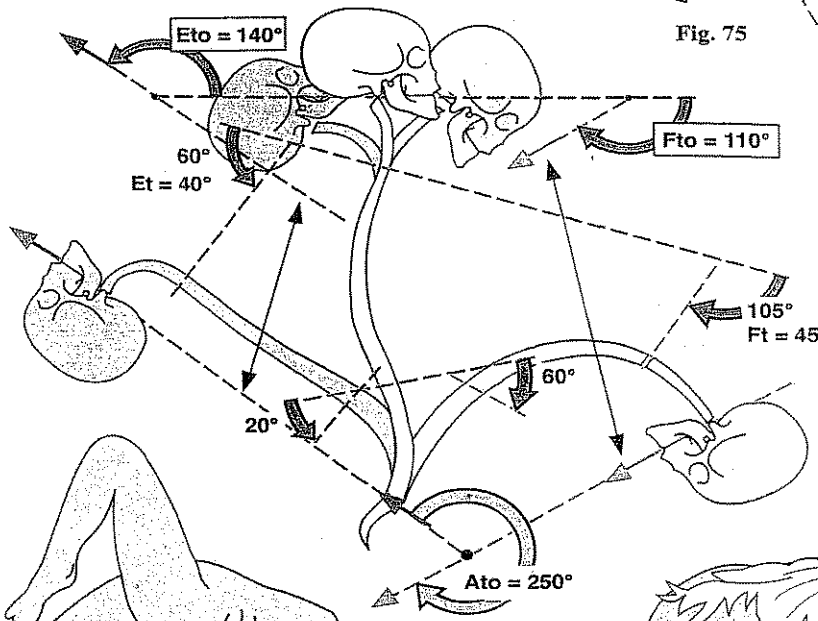


Fig. 72

Fig. 73

Fig. 74

Amplitudes totales de la inflexión lateral del raquis

El movimiento de inflexión lateral también denominado inclinación del raquis se realiza en el plano frontal (Fig. 76).
La medición clínica de las amplitudes es imprecisa, mientras que dicho movimiento es fácil de medir con precisión en las **radiografías de frente** (Fig. 77); basándose en el eje de las vértebras, o en la dirección de la meseta superior de la vértebra implicada.
La línea de referencia de base es la carilla sacra o **la meseta sacra**, cara superior de la 1ª vértebra sacra.
En el cráneo se puede tomar como punto de referencia la **línea bimastoidea**, que pasa por el vértice de ambas apófisis mastoides.

- La inflexión lateral del **raquis lumbar L** es de 20°.
- La inflexión lateral del **raquis torácico T** es de 20°.
- La inflexión lateral del **raquis cervical C** es de 35° a 45°.
- La inflexión o **inclinación total del raquis IT** entre el sacro y el cráneo es entonces de 75 a 85° a cada lado.

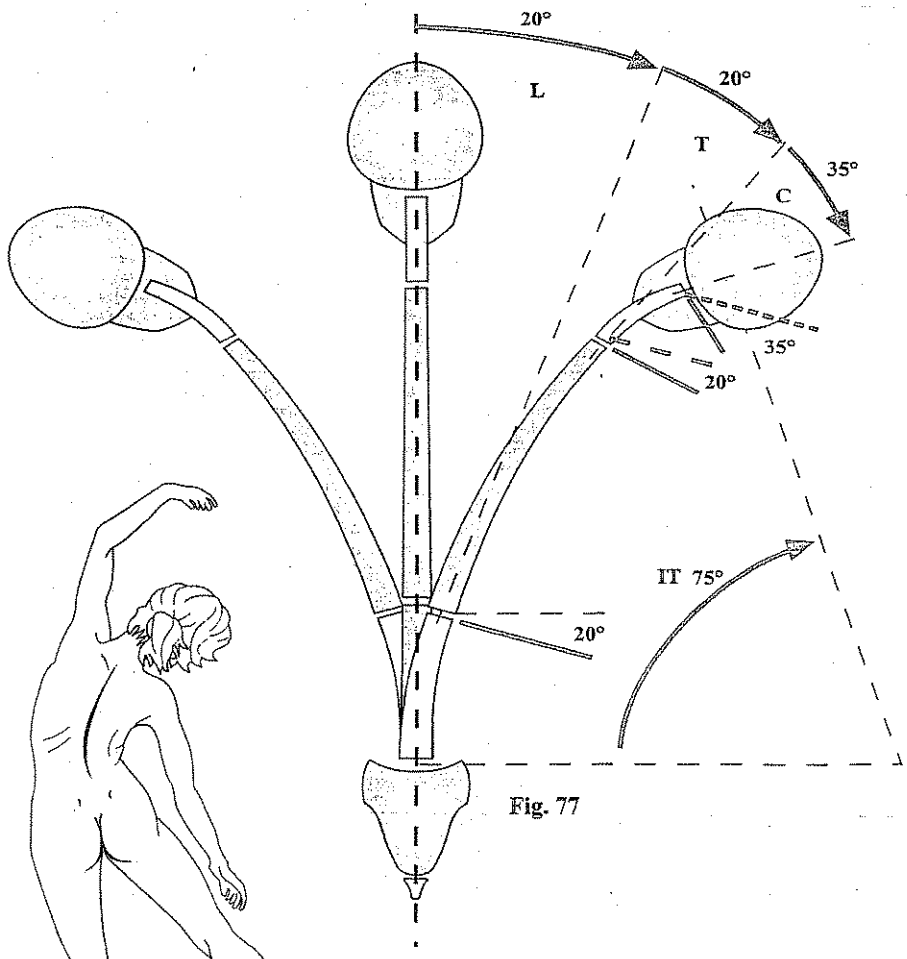


Fig. 77

Fig. 76

Amplitudes globales de la rotación del raquis en conjunto

Las amplitudes de rotación son difíciles de apreciar, ya que resulta imposible hacer radiografías en el plano transversal y las tomografías axiales realizadas para el estudio de los órganos no son lo bastante precisas para apreciar la rotación de las vértebras. Se puede medir la rotación total del raquis fijando la pelvis y contando el grado de rotación del cráneo. Recientemente, los autores americanos, Greggersen y Lucas, han podido medir de manera muy precisa las rotaciones elementales tomando como puntos de referencia agujas metálicas insertadas mediante anestesia local en las apófisis espinosas. Se volverá a tratar este tema a propósito del raquis toracolumbar.

- La rotación axial en el **raquis lumbar** (Fig. 78) es muy poca: 5°. Más adelante, se expondrán las causas de esta limitación del movimiento de rotación axial.
- La rotación axial en el **raquis torácico** (Fig. 79) es mucho más acentuada: 35°, puesto que se ve favorecida por la disposición de las apófisis articulares.
- La rotación axial en el **raquis cervical** (Fig. 80) es muy amplia, ya que alcanza de 45 a 50°. Se puede constatar como el atlas efectúa una rotación aproximada de 90° en relación al sacro.
- La rotación axial **entre la pelvis y el cráneo** (Fig. 81) alcanza o sobrepasa ligeramente los 90°. De hecho, existen unos cuantos grados de rotación axial en la articulación atlantooccipital, pero, dado que con frecuencia la rotación axial es menor en el raquis toracolumbar, la rotación total apenas alcanza los 90°.

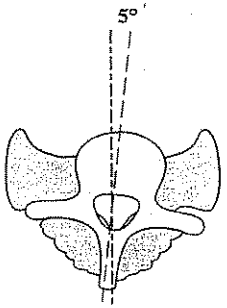


Fig. 78

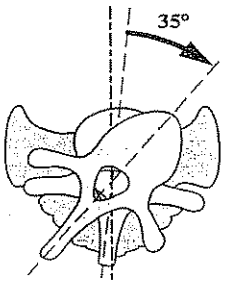


Fig. 79

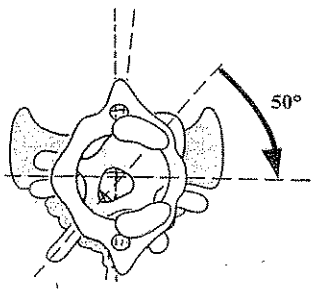


Fig. 80

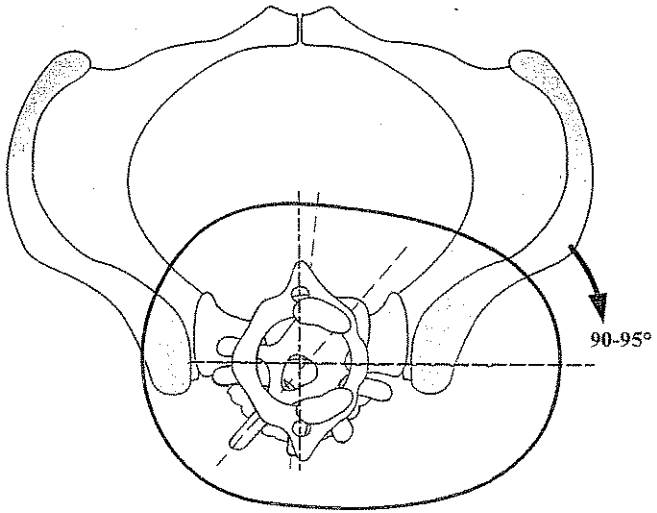


Fig. 81

Apreciación clínica de las amplitudes globales del raquis

En el caso de la flexoextensión y de la inflexión lateral, las medidas exactas de la amplitud global del raquis sólo se pueden tomar sobre radiografías del conjunto del mismo.

No obstante, la amplitud global de los movimientos del raquis se puede apreciar clínicamente mediante movimientos "tests".

- Para apreciar la flexión del **raquis toracolumbar** (**Fig. 82**), se puede:
  - medir el **ángulo a** entre la vertical y la línea que une el borde anterosuperior del trocánter mayor y del ángulo del acromion; este ángulo incluye también una amplitud de flexión de la cadera;
  - localizar el **nivel alcanzado por el borde de los dedos d** al realizar una flexión de tronco en bipedestación con las rodillas extendidas; en este caso, la flexión también incluye una amplitud de flexión de la cadera. Esta localización se puede llevar a cabo midiendo en centímetros la distancia **d** de los dedos hasta el suelo, o bien situando el nivel **n** de los dedos en relación a los miembros inferiores: rótula, mitad de la pierna, garganta del pie o dedos del mismo;
  - medir con una cinta métrica flexible la distancia que separa la apófisis espinosa de C7 de la primera apófisis espinosa sacra, primero en extensión y luego en flexión. En el esquema, este alargamiento de la distancia C7-S1 es de 5 cm.
- Para medir la **extensión del raquis toracolumbar** (**Fig. 83**) se puede evaluar el ángulo **a** entre la vertical y la línea que une el borde anterosuperior del trocánter mayor y el ángulo del acromion en máxima extensión. Pero esta medida integra de nuevo cierto grado de extensión en las caderas. Un método un tanto más preciso consiste en medir el ángulo **b** de extensión total del raquis y a continuación restarle el ángulo de extensión del raquis cervical aislado (esta última amplitud se mide con el tronco vertical y la cabeza echada hacia atrás); en el individuo un buen test de extensión y de flexibilidad raquídea es el movimiento denominado "hacer el puente" (*véase* **Fig. 73 pág. 39**); pero éste, evidentemente, no es un movimiento test que se pueda utilizar en cualquier caso.
- **Para apreciar la inclinación lateral del raquis toracolumbar** (**Fig. 84**); se mide en el individuo de espaldas, el ángulo **a** constituido por la vertical y la línea que une el extremo superior del surco interglúteo y la apófisis espinosa de C7. Sin embargo, sería más exacto medir el ángulo **b** formado por la vertical y la tangente a la curva raquídea a la altura de C7. Un medio práctico más sencillo e inmediato, consiste en localizar el nivel **n** alcanzado por los dedos de la mano en relación a la rodilla, del lado de la inclinación: por encima de la rodilla, al nivel de ésta o por debajo de la misma.
- Para apreciar correctamente el movimiento de **rotación axial del raquis**, se debe observar al individuo desde arriba (**Fig. 85**); para inmovilizar la pelvis, el sujeto debe sentarse en una silla de respaldo bajo, con la pelvis y las rodillas bien sujetas, el plano de referencia es el plano frontal **F**, que pasa por la parte superior del cráneo. La rotación del raquis toracolumbar se aprecia por el ángulo **a** formado por la línea de los hombros **HH'** y el plano frontal.
- La **amplitud total de rotación del raquis** se mide por el ángulo de rotación **b** del plano biauricular y del plano frontal. También se puede medir el ángulo de rotación **b'** constituido por el plano de simetría de la cabeza **S'** y el plano sagital **S**.

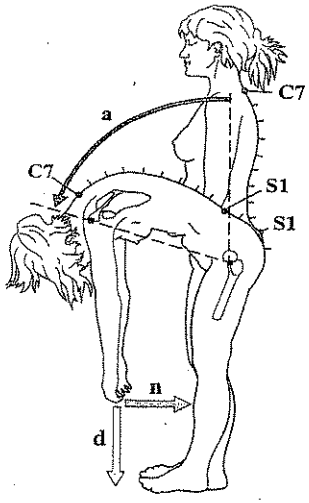


Fig. 82

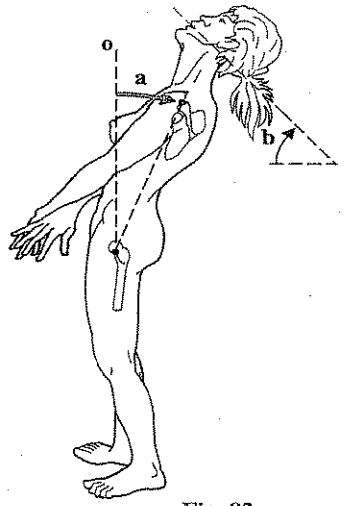


Fig. 83

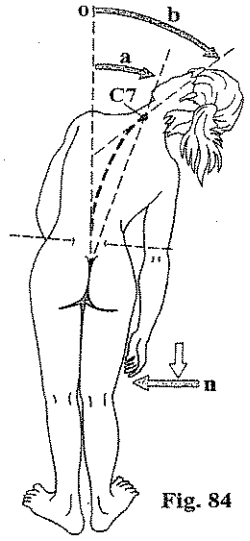


Fig. 84

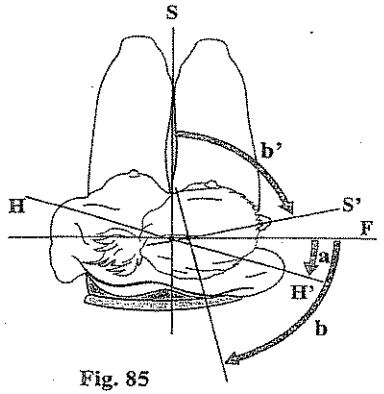
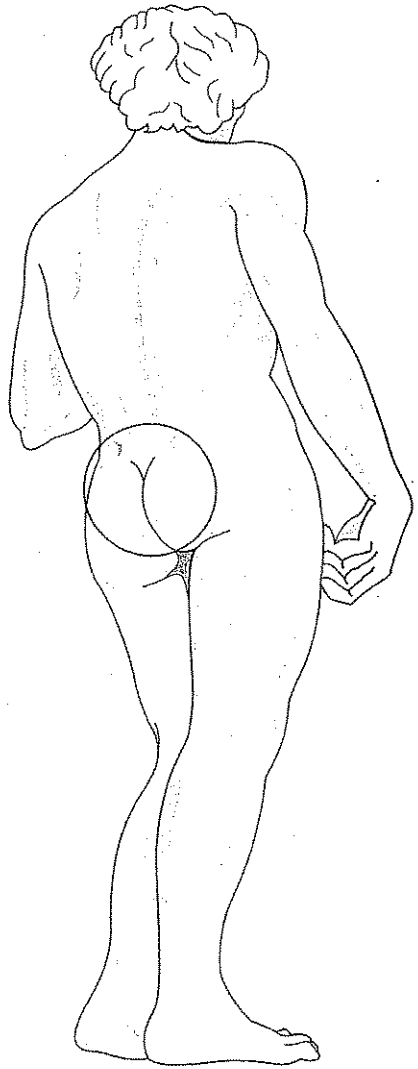


Fig. 85

Capítulo 2

LA CINTURA PÉLVICA

La cintura pélvica también se denomina **pelvis**. La cintura pélvica forma la base del tronco. Asimismo, constituye el sostén del abdomen y lleva a cabo la unión entre los miembros inferiores y el tronco, y, debido a esto, **soporta el conjunto del cuerpo**.
En relación al prototipo de vertebrados, es una estructura anatómica que ha sufrido **grandes transformaciones**, especialmente en los mamíferos, a continuación en los monos superiores, y posteriormente en el *homo sapiens*. De hecho, se trata de la cavidad que recibe no solamente los órganos abdominales, sino también, en la mujer, el útero, órgano de la **gestación**, que adquiere en este espacio un desarrollo considerable. Su diafragma inferior, **el perineé**, está pues concebido para permitir el paso del niño recién nacido, mediante el mecanismo del **parto**.



La cintura pélvica en el hombre y en la mujer

La cintura pélvica está constituida por tres piezas óseas:

- los dos huesos ilíacos, pares y simétricos;
- el sacro, impar y simétrico, bloque vertebral constituido por la unión de cinco vértebras sacras.

Y por tres articulaciones, de escasa movilidad:

- las dos articulaciones sacroilíacas que unen el sacro a cada uno de los huesos coxales;
- la sínfisis púbica, que une ambos huesos coxales por delante.

La cintura pélvica tiene, en conjunto, la forma de un embudo con una gran base superior que conecta la cavidad abdominal y la pelvis a través de la abertura superior de la pelvis.

En el caso de la cintura pélvica, el **dimorfismo sexual**, es decir la diferencia en cuanto a conformación según el sexo, se aprecia con claridad:

- de hecho, cuando se compara la pelvis masculina (**Fig. 1**) con la femenina (**Fig. 2**), se puede constatar cómo esta última es mucho más ancha y mucho más extensa: el triángulo en cuyo interior se inscribe posee una base más amplia que el de la pelvis masculina;
- por otra parte, también es menos alta que la pelvis masculina: la altura del triángulo inscrito es menor;
- por último, proporcionalmente, la abertura superior de la pelvis (**línea gruesa continua**) es más ancha y más abierta en la mujer que en el hombre.

Esta diferencia en la morfología de la cintura pélvica está relacionada con la **función de gestación** y, sobre todo, con la del **parto**, puesto que el feto y, en particular su cabeza, que constituye la parte más voluminosa, en un primer momento está situada por encima de la abertura superior de la pelvis a través de la cual debe pasar en el momento oportuno para encajarse en una excavación y a continuación abrirse camino por la abertura inferior de la pelvis.

Por lo tanto, las articulaciones de la cintura pélvica desempeñan no sólo una función en la **estática del tronco en bipedestación**, sino también **un papel importante en el mecanismo del parto**, como se podrá ver más adelante a propósito de la fisiología de la articulación sacroilíaca y de la sínfisis púbica.

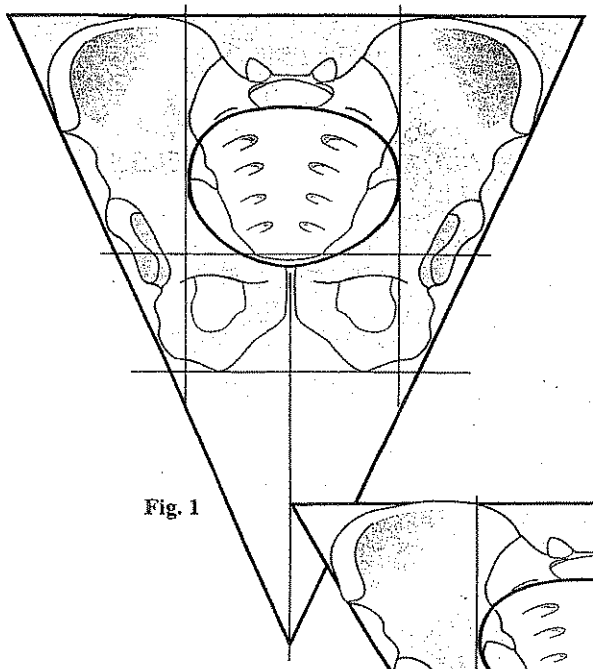


Fig. 1

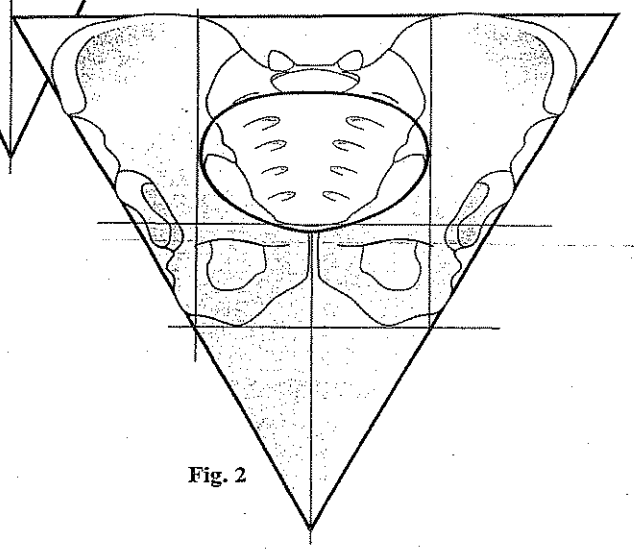


Fig. 2

Modelo mecánico de la cintura pélvica

La **estructura mecánica del anillo pélvico (Fig. 3)** está compuesta por tres piezas óseas:

- el sacro;
- los dos huesos coxales.

El **sacro**, centrado, simétrico y en forma de cuña, constituye la base del edificio raquídeo y se integra como una clave de arco entre los dos huesos coxales, que se unen por delante a la altura de la sínfisis púbica.

Cada hueso coxal **(Fig. 4)**, articulado por detrás con el sacro, presenta **dos partes muy planas**, la **cresta ilíaca** por arriba y el **agujero obturador u obturado** por debajo, que forman entre ambos un **ángulo** tal que la forma general del hueso sugiere una hélice.

La conexión de estos dos planos se lleva a cabo en el **acetábulo (Fig. 5)**, que forma el **eje de la hélice**, y constituye con la cabeza del fémur, la **articulación de la cadera**.

Los dos elementos planos forman un ángulo abierto por dentro **(Fig. 6)** y sirven de superficie de inserción a los potentes músculos de la cintura pélvica.

Las dos superficies superiores forman un **ángulo obtuso**, abierto por delante **(Fig. 3)**, y constituyen, con el raquis por detrás y en el centro, la pared posterior de la parte más caudal del abdomen, denominada **pelvis mayor**. Las dos superficies inferiores forman un **ángulo obtuso**, abierto por detrás, y constituyen, con el sacro por detrás y en el centro, la parte inferior de la cavidad pélvica, denominada **pelvis menor**.

- La cintura pélvica garantiza por tanto una doble función:
- una **función mecánica**, como parte esquelética del tronco;
- y **una función de envoltura**, sujeción y contención de las vísceras del abdomen.

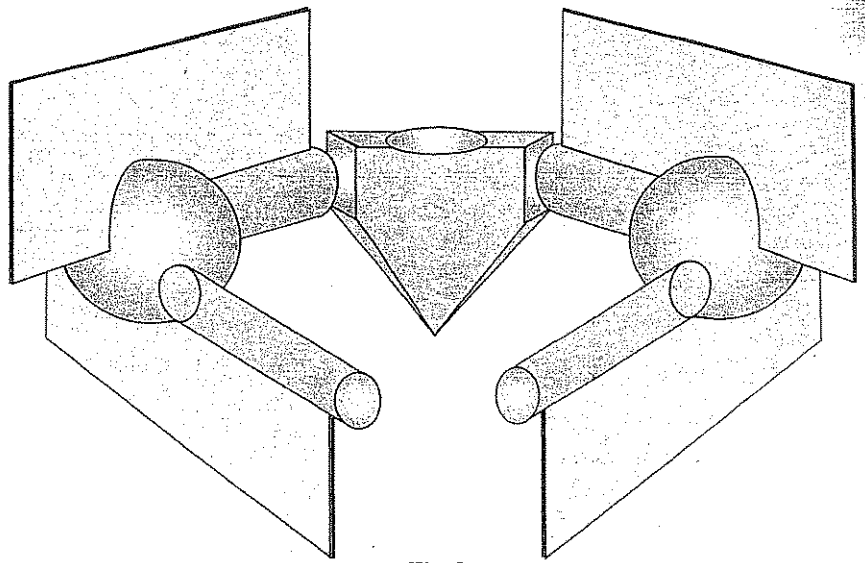


Fig. 3

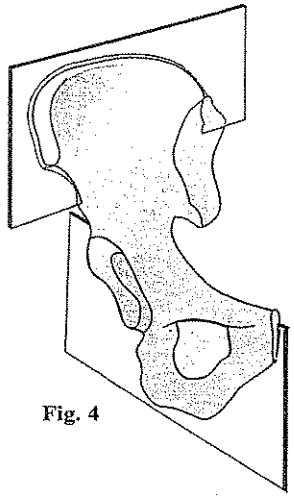


Fig. 4

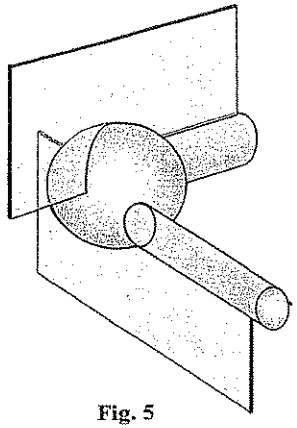


Fig. 5

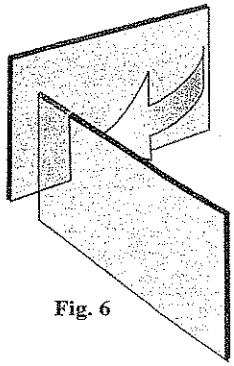


Fig. 6

Arquitectura de la cintura pélvica

La cintura pélvica, considerada en conjunto, transmite fuerzas entre el raquis y los miembros inferiores (**Fig. 7**): el peso **P** que soporta la quinta vértebra lumbar se reparte en dos partes iguales hacia las alas del sacro, para, a continuación, a través de las espinas ciáticas, dirigirse hacia el **acetábulo**. En este punto se recibe la resistencia del suelo al peso del cuerpo **R** que transmite el cuello del fémur y la cabeza femoral; una parte de esta resistencia queda anulada por la resistencia opuesta a la altura de la **sínfisis** púbica tras haber atravesado la **rama horizontal del pubis**.

El conjunto de estas líneas de fuerza constituye un anillo completo representado por la **abertura superior de la pelvis**. Existe todo un sistema trabecular para dirigir estas fuerzas a través del anillo pélvico (*véase* Tomo II).

En virtud de su anchura, más amplia arriba que abajo en su parte articular, se puede considerar el sacro como una cuña **(triángulo)** que se incrusta verticalmente entre las dos crestas ilíacas. **Unido a ellas por ligamentos**, el sacro está tanto más sujeto entre las citadas alas cuanto mayor es el peso ejercido sobre él: se trata de **un sistema de autobloqueo**.

Además, el sacro está encajado entre las dos crestas ilíacas en el plano transversal (**Figs. 8 y 9**). De hecho, se puede considerar cada ala ilíaca como un brazo de palanca (**Fig. 8**) cuyo punto de apoyo **O1** y **O2** se localizaría en las articulaciones sacroilíacas y cuya resistencia y potencia estarían situadas en los extremos superiores e inferiores. Por detrás, los potentes **ligamentos sacroilíacos L1** y **L2** representarían la resistencia y, por delante, la potencia de cada uno de los brazos de palanca estaría representada por la sínfisis púbica desarrollando una fuerza de aproximación **S1** y **S2**.

Cuando se produce **una dislocación de la sínfisis púbica** (**Fig. 9**), la **diastasis** de los dos pubis **S** permite la separación de las superficies ilíacas de las articulaciones sacroilíacas, y como el sacro ya no está sujeto puede desplazarse hacia delante **d1** y **d2**.

Cada vez que un miembro inferior se apoya en el suelo, el anillo pélvico dislocado es el lugar de desplazamiento en cizalla de la sínfisis púbica (**Fig. 10**): cualquier ruptura de continuidad en un punto repercute en la totalidad del anillo comprometiendo su resistencia mecánica.

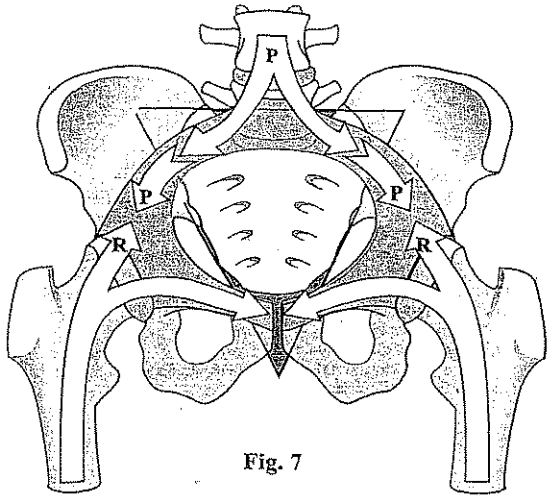


Fig. 7

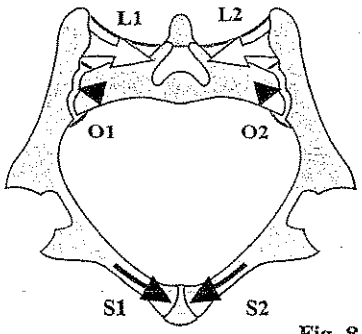


Fig. 8

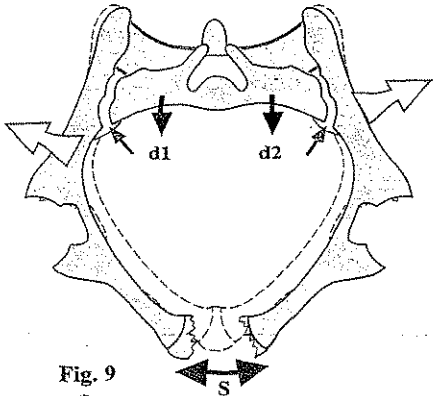


Fig. 9

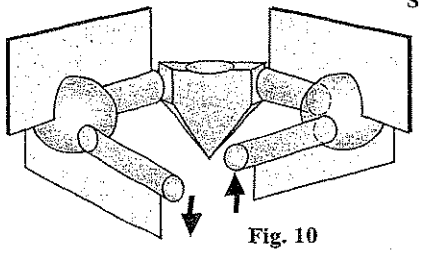


Fig. 10

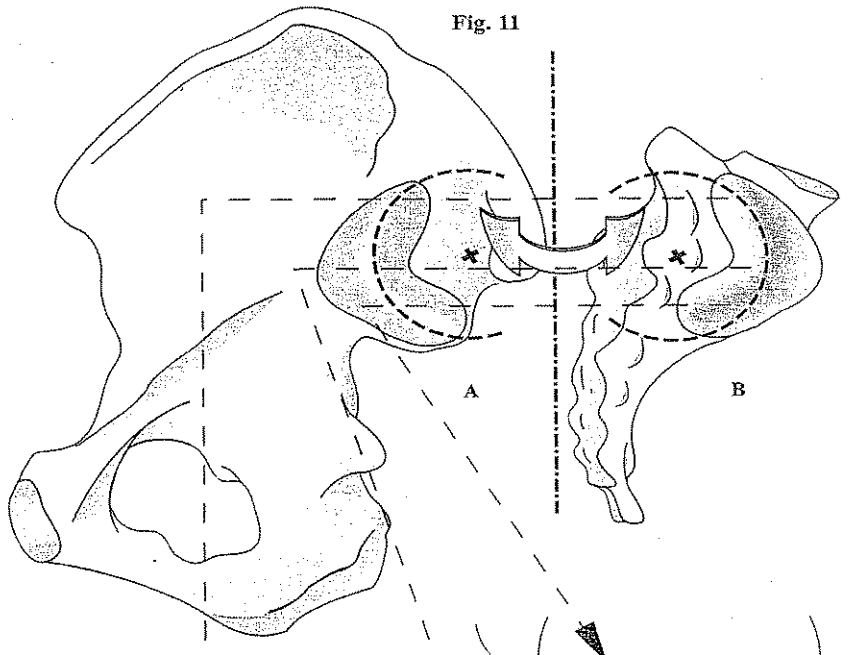
Las superficies articulares de la articulación sacroilíaca

Si se abre una articulación sacroilíaca **(Fig. 11)** como si de un libro se tratase, de modo que las dos piezas óseas pivoten en torno a un eje vertical **(trazo a rayas y puntos)** se puede comprobar con claridad la correspondencia de las dos superficies articulares:

- la **carilla auricular del hueso coxal A**, situada en la parte posterosuperior de la cara interna del hueso ilíaco, justo por detrás de la línea innominada, que constituye una parte de la abertura superior de la pelvis. Esta superficie tiene forma de media luna de concavidad posterosuperior; está recubierta de cartílago y, en conjunto, es bastante irregular, pero Farabeuf afirmó que parecía un riel ocupado: de hecho, en el eje mayor de esta superficie discurre una cresta alargada que separa dos depresiones; esta cresta está incurvada sobre sí misma siguiendo un arco de círculo, cuyo centro está situado aproximadamente en la **tuberosidad ilíaca (marcada con una cruz)** que, como se podrá comprobar más adelante, constituye la inserción de **potentes ligamentos de la articulación sacroilíaca**;
- la **superficie auricular del ala sacra B**, cuyos bordes se superponen a los de la carilla auricular del hueso coxal y cuya superficie tiene una conformación inversa.

En la línea axial de esta superficie existe una **depresión** bordeada por dos crestas alargadas, el conjunto está incurvado siguiendo un arco de círculo cuyo centro se localiza a la altura del primer tubérculo sacro **(marcado con una cruz)** en el que se insertan potentes ligamentos de la articulación. Farabeuf afirmó que la superficie auricular del sacro estaba conformada como un riel hueco, que corresponde exactamente a la superficie del riel ocupado del hueso ilíaco.
Sin embargo, estas dos superficies están lejos de tener la regularidad descrita y si se realizan tres cortes horizontales a diferentes niveles en la articulación sacroilíaca de la **figura 11**, se puede constatar que, sólo en la parte superior **(Fig. 12)** y en la parte media **(Fig. 13)** de la carilla auricular del sacro existe una depresión central. En cambio, en su parte inferior **(Fig. 14)**, la carilla auricular del sacro es más bien convexa en su parte central. De todo esto se puede deducir la dificultad que existe para realizar una proyección radiológica de la interlínea sacroilíaca, dependiendo de la parte que se desee explorar, la proyección deberá ser oblicua de fuera adentro, o de dentro afuera.

Fig. 11



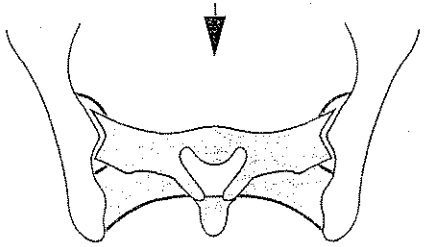


Fig. 12

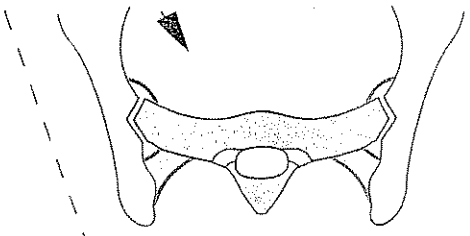


Fig. 14

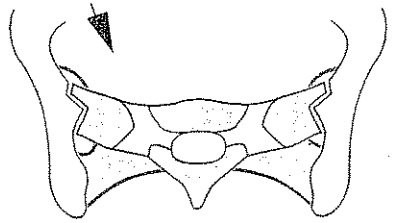


Fig. 13

La carilla auricular del sacro

La **carilla auricular del sacro** puede presentar grandes variaciones morfológicas según individuos. A. Delmas ha demostrado la existencia de una correspondencia entre el tipo de raquis y la morfología del sacro y de su carilla auricular (**Fig. 15**).

- Cuando **las curvas raquídeas están muy acentuadas A,** lo que corresponde a un tipo dinámico, el sacro es muy horizontal y la carilla auricular, muy incurvada sobre sí misma y a la par muy cóncava. La articulación sacroilíaca está pues dotada de una **gran movilidad** que recuerda a la de una diartrosis, se trata de un tipo especialmente evolucionado, "**sobreadaptado**", que corresponde a un grado extremo de adaptación a la marcha bípeda.
- Cuando las **curvas raquídeas están poco acentuadas C,** lo que corresponde a un tipo **estático,** el sacro está entonces casi vertical y la carilla auricular muy alargada verticalmente y muy poco acodada sobre sí misma; por otra parte su superficie es casi plana. Esta morfología de la carilla auricular, muy distinta de la descrita por Farabeuf, corresponde a una **articulación de poca movilidad** que recuerda a la de una anfiartrosis; este aspecto que se observa a menudo en los niños se aproxima al hallado en los primates.
- Evidentemente, entre estos dos extremos existe un **tipo intermedio B.**

Sea como fuere, A. Delmas ha demostrado que la **evolución de los primates hasta el hombre** se acompaña de un alargamiento y un ensanchamiento del segmento caudal de la carilla auricular cuya importancia rebasa, en el hombre, la del segmento craneal, la angulación de ambos segmentos puede alcanzar en el hombre el ángulo recto, mientras que en los primates esta carilla está muy poco incurvada sobre sí misma.

Weisel ha analizado a través de alzados cartográficos el relieve de la carilla auricular del sacro, demostrando (**Fig. 16**) que la aurícula es generalmente más larga y estrecha en el sacro que en el hueso ilíaco y que se observa constantemente una depresión central en la unión de los dos segmentos (**marcados con el signo –**) y dos elevaciones cerca de los extremos de cada segmento (**marcadas con el signo +**). En el hueso ilíaco, la disposición es recíproca pero no exactamente simétrica. De este modo, existe una elevación en la unión de los dos segmentos que corresponde al tubérculo de Bonnaire.

Weisel también ha desarrollado una teoría personal sobre la disposición de los ligamentos de esta articulación sacroilíaca en relación a las fuerzas que recibe. Clasifica estos ligamentos en dos grupos (**Fig. 17**):

- un **grupo craneal (flecha Cr),** de dirección lateral y dorsal, que se opondría al componente **F1** del peso del cuerpo **P** ejercido sobre la cara superior de la primera vértebra sacra. Estos ligamentos actuarían durante el desplazamiento del promontorio hacia delante, que se integra en la nutación;
- un **grupo caudal (flecha Ca),** de dirección craneal, que se opondría al componente **F2** perpendicular al plano de la cara superior de la primera vértebra sacra.

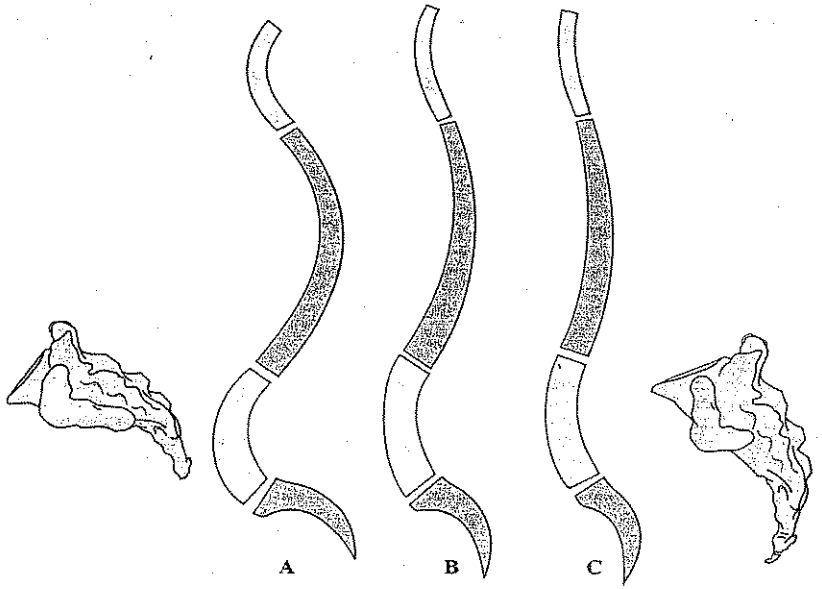


Fig. 15

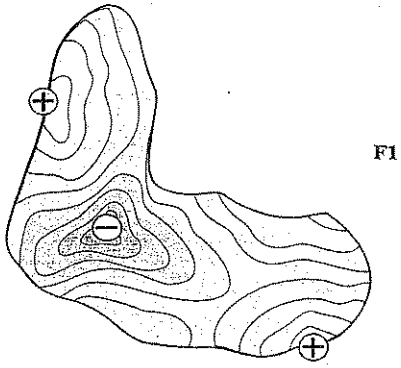


Fig. 16

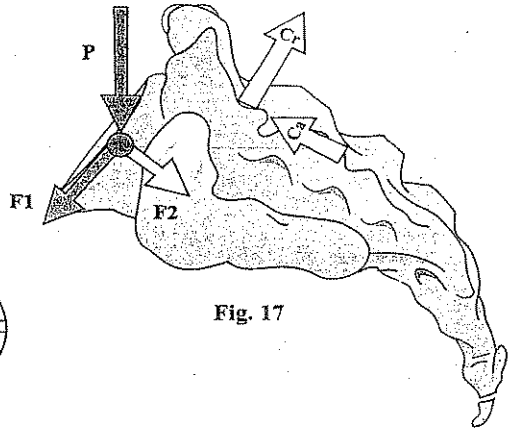


Fig. 17

Los ligamentos de la articulación sacroilíaca

En una **visión posterior de la pelvis** (Fig. 18), se pueden observar, por una parte, los ligamentos iliolumbares:

- el **haz superior del ligamento iliolumbar 1**;
- el **haz inferior del ligamento iliolumbar 2**.

En el lado derecho de la figura se distingue el plano medio de los ligamentos iliosacros, con de arriba abajo:

- el **ligamento iliotransverso sacro 3**;
- los **ligamentos iliotransversos conjugados 4** descritos por Farabeuf, divergen del extremo posterior de la cresta ilíaca y terminan en los tubérculos conjugados:
  - el primer ligamento iliotransverso conjugado se extiende desde la tuberosidad ilíaca, situada por detrás del vértice de la pirámide, al primer tubérculo conjugado.
  - el segundo ligamento iliotransverso conjugado, de Zaglas, se fija en el segundo tubérculo conjugado.
  - los ligamentos iliotransversos conjugados tercero y cuarto se extienden desde la espina ilíaca posterosuperior a los tubérculos conjugados tercero y cuarto.

En el lado izquierdo está representado el **plano ligamentoso superficial 5**, abanico fibroso que se extiende desde el borde superior del hueso ilíaco hasta los tubérculos posterointernos.

Entre la parte inferior del borde externo del sacro y la gran escotadura ciática se extienden dos importantes ligamentos: los ligamentos sacrotuberoso y sacroespinoso:

- el ligamento sacroespinoso **6** oblicuo hacia arriba, hacia adentro y hacia atrás, se extiende desde la espina ciática al borde lateral del sacro y del cóccix;
- el ligamento sacrotuberoso 7 atraviesa oblicuamente la cara posterior del precedente. Se inserta por arriba a lo largo de una línea que va desde el borde posterior del hueso ilíaco a las dos primeras vértebras coccígeas. Sus fibras oblicuas hacia abajo, hacia delante y hacia fuera, están retorcidas sobre sí mismas y se insertan por abajo en la tuberosidad isquiática, así como en el labio interno de la rama ascendente del isquion. La gran escotadura ciática se halla así dividida por estos dos ligamentos sacrotuberoso y sacroepsinoso en **dos agujeros**:
  - un **agujero superior**, por el que sale de la pelvis el músculo piramidal;
  - y un **agujero inferior**, agujero de salida del músculo obturador interno.

En una **visión anterior (Fig. 19)**, se hallan de nuevo los ligamentos iliolumbares 1 y 2, los ligamentos sacrotuberoso 7 y sacroespinoso **6**, aunque también se encuentra el ligamento sacroilíaco anterior, constituido por dos haces todavía denominados **frenos de nutación superior e inferior:**

- un **haz anterosuperior 8**;
- un **haz anteroinferior 9**.

La **figura 20** muestra la **articulación sacroilíaca derecha**, con sus ligamentos, abierta por la rotación en torno a un eje vertical; de este modo, se puede observar el hueso ilíaco **A** por su cara interna y el sacro **B** por su cara externa. Así se puede entender:

- **el enrollamiento de los ligamentos** alrededor de la articulación sacroilíaca y las condiciones en las que se tensan durante la nutación y la contranutación;
- la **dirección oblicua hacia abajo, hacia delante y hacia dentro de los frenos de la nutación 8** y **9** a partir del hueso ilíaco **A**. A partir del sacro **B** són oblicuos hacia arriba, hacia delante y hacia fuera;
- del mismo modo se hallan de nuevo los **ligamentos iliotransversos conjugados 5**;
- los ligamentos **sacroespinoso 6** y **sacrotuberoso 7**;
- el **ligamento sacroilíaco interóseo (representado por una zona blanca en las dos mitades del dibujo en la concavidad de las superficies articulares)** constituye el plano profundo de los ligamentos sacroilíacos y se fija por afuera en la tuberosidad ilíaca, sobre todo en la pirámide, y por dentro en las dos primeras fosas cribosas del sacro. También se le denomina **ligamento axial**, y para los autores clásicos representa el **eje** en torno al cual se ejecutan los movimientos del sacro; de ahí su nombre.

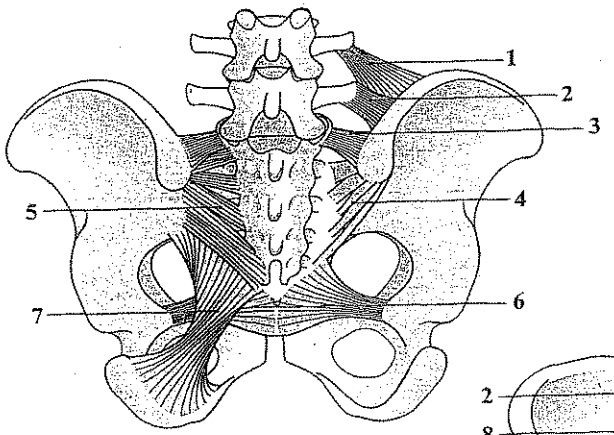


Fig. 18

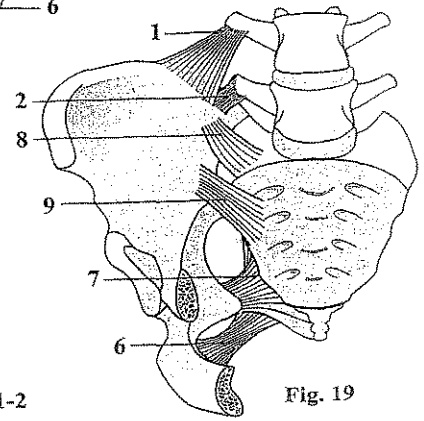


Fig. 19

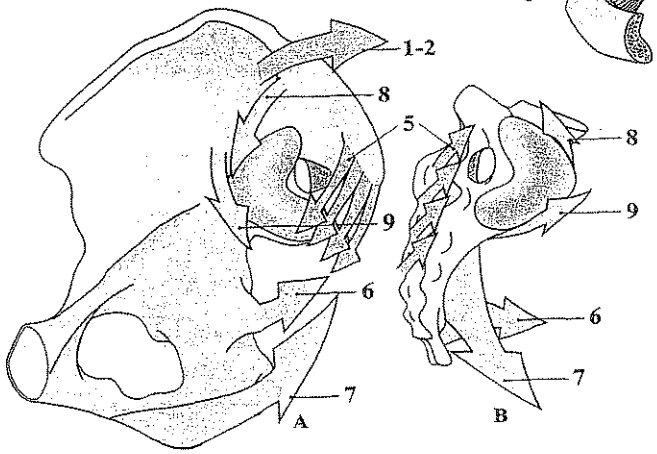


Fig. 20

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

La nutación y la contranutación

Antes de analizar los movimientos de la articulación sacroilíaca conviene recordar que su amplitud no es mucha y, además, es variable según circunstancias e individuos, lo que explica las contradicciones existentes entre diferentes autores en cuanto a las teorías de funcionamiento de esta articulación y a la importancia que estos movimientos pueden tener en la fisiología del parto. Estos movimientos fueron descritos por primera vez por Zaglas en 1851 y por Duncan en 1854.

Definición y mecanismos según la teoría clásica

Durante el **movimiento de nutación** (**Fig. 22**), el sacro gira (**flecha roja**) en torno al eje representado por la **cruz negra** y constituido por el **ligamento sacroilíaco interóseo**, de tal modo que el promontorio se desplaza **hacia abajo y hacia delante S2** y el vértice del sacro y el extremo del cóccix se desplazan **hacia atrás d2**.

En el transcurso de este movimiento de **báscula**, que podría compararse a un **"saludo"**, el diámetro anteroposterior de la abertura superior de la pelvis **AS** disminuye una distancia **S2**, mientras que el diámetro anteroposterior de la abertura inferior de la pelvis **AI** aumenta una distancia **d2**. Simultáneamente (**Fig. 21**), las crestas ilíacas se aproximan mientras que las tuberosidades isquiáticas se separan. El movimiento de nutación está limitado (***véase* la Fig. 20 pág. 59**) por la tensión de los ligamentos sacrotuberoso **7** y sacroespinoso **6** y de los frenos de nutación, a saber: los haces anterosuperior **8** y anteroinferior **9** del ligamento sacroilíaco anterior.

En un **corte frontal de la pelvis** (**Fig. 23**), el **ensanchamiento de la abertura superior de la pelvis AS y de la abertura inferior de la pelvis AI** es fácil de constatar durante la nutación, al igual que la aproximación de las crestas ilíacas a la altura de las espinas ilíacas anterosuperiores **eias**.

El **movimiento de contranutación** (**Fig. 25**) lleva a cabo desplazamientos inversos: el sacro, al pivotar en torno al ligamento sacroilíaco interóseo (**cruz negra**) se endereza (**flecha negra**), de modo que el promontorio se desplaza **hacia arriba y atrás SI** y el extremo inferior del sacro y el vértice inferior del cóccix se desplazan **hacia abajo y hacia delante d1**.

En el transcurso de este movimiento **de enderezamiento tras el "saludo"**, el diámetro anteroposterior de la abertura superior de la pelvis **AS** aumenta entonces una distancia **S1**, mientras que el diámetro anteroposterior de la abertura inferior de la pelvis **AI** disminuye una distancia **d1**. Por otra parte (**Fig. 24**), las crestas ilíacas se separan y las tuberosidades isquiáticas se aproximan.

El movimiento de contranutación está limitado (**véase la Fig. 20 pág. 59**) por la tensión de los ligamentos sacroilíacos, distribuidos en el plano superficial **5** y el plano profundo **4**. A título informativo, la variación del diámetro anteroposterior de la abertura superior de la pelvis puede variar de 3 mm para Bonnaire, Pinard y Pinzani, a 8 a 13 mm para Walcher. La amplitud de variación del diámetro anteroposterior de abertura inferior de la pelvis puede variar de 15 mm para Borcel y Fernstrom a 17,5 mm para Thoms. Weisel confirmó recientemente el desplazamiento transversal de las crestas ilíacas y de las tuberosidades isquiáticas.

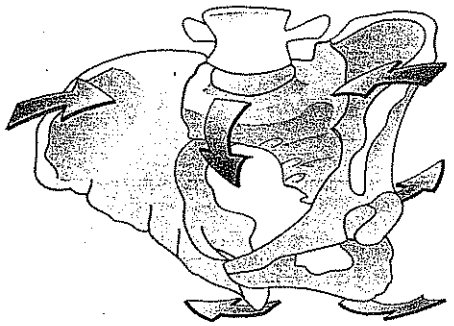


Fig. 21

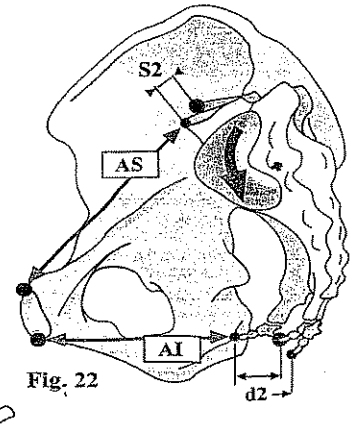


Fig. 22

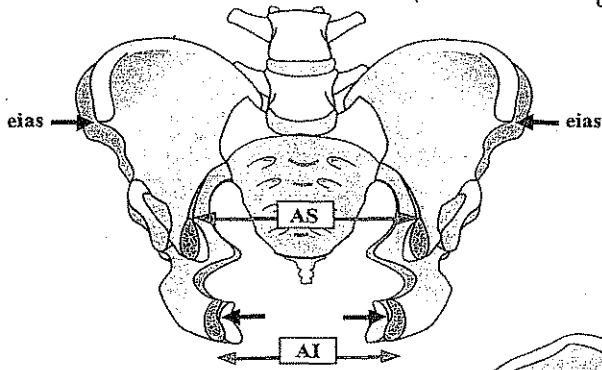


Fig. 23

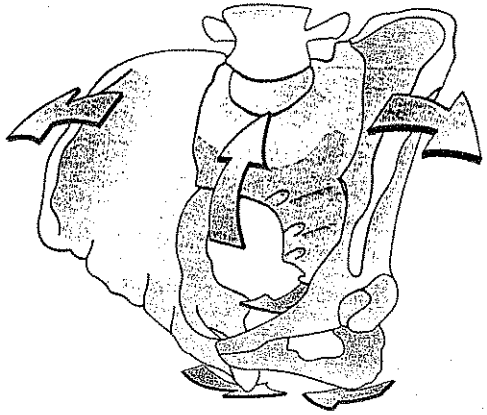


Fig. 24

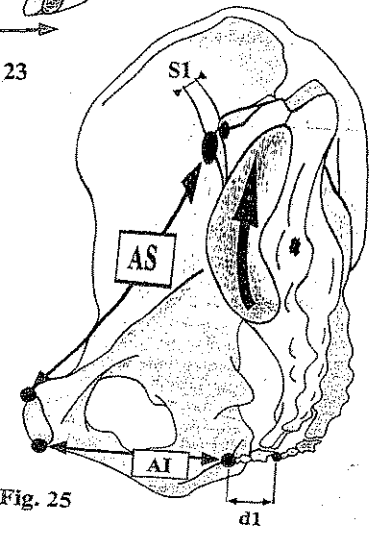


Fig. 25

Las diferentes teorías de la nutación

En la **teoría clásica de Farabeuf (Fig. 26)** que se acaba de describir, el movimiento de báscula **R** del sacro se efectúa en torno al eje constituido por el ligamento axial, el desplazamiento es angular y el promontorio se desplaza hacia abajo y hacia delante en torno a un arco de círculo de centro (+) retroauricular.

En la **teoría de Bonnaire (Fig. 27)**, el movimiento de báscula del sacro se efectúa en torno a un eje, que pasa por el tubérculo de Bonnaire, en la unión de los dos segmentos de la aurícula sacra. El centro de este movimiento angular **R** basculante del sacro es pues auricular.

Sin embargo, los estudios de **Weisel** permiten proponer otras dos teorías:

- una **teoría de traslación pura T (Fig. 28)**, según la cual el sacro se deslizaría a lo largo del eje de la porción inferior de la aurícula. Se trataría entonces de una **traslación** siguiendo una distancia d que afectaría del mismo modo al promontorio sacro y al vértice del sacro;
- otra **hipótesis retomaría** la idea de la **rotación R (Fig. 29)**, pero esta vez en torno a un eje preauricular situado por debajo y por delante del sacro. La localización de este centro de rotación variaría de un individuo a otro, y, en el mismo individuo, según el tipo de movimiento realizado.

La variedad de estas teorías hace suponer **la dificultad para analizar** los movimientos de poca amplitud así como la posibilidad de diferentes tipos de movimientos según los individuos.

No obstante, estas nociones no tienen el carácter abstracto que podría atribuírseles, **ya que estos movimientos intervienen en la fisiología del parto.**

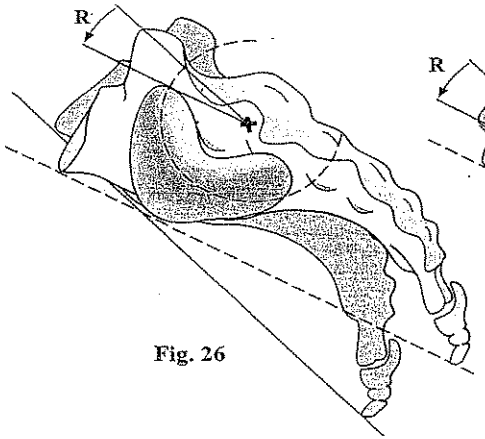


Fig. 26

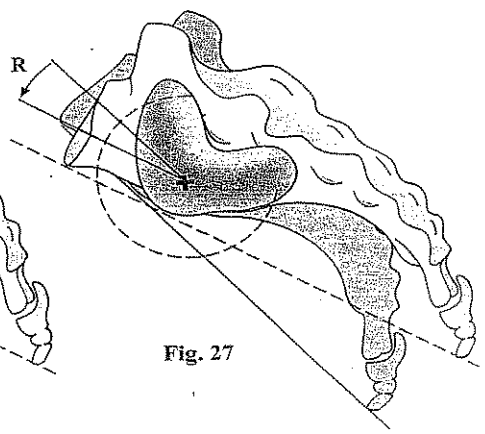


Fig. 27

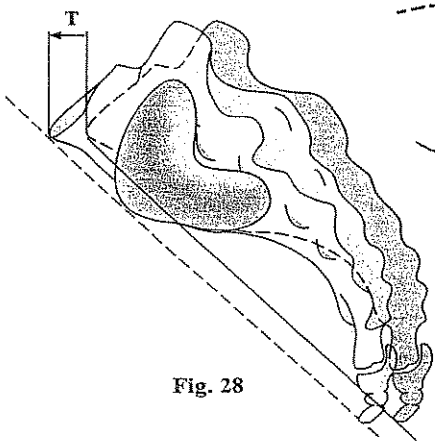


Fig. 28

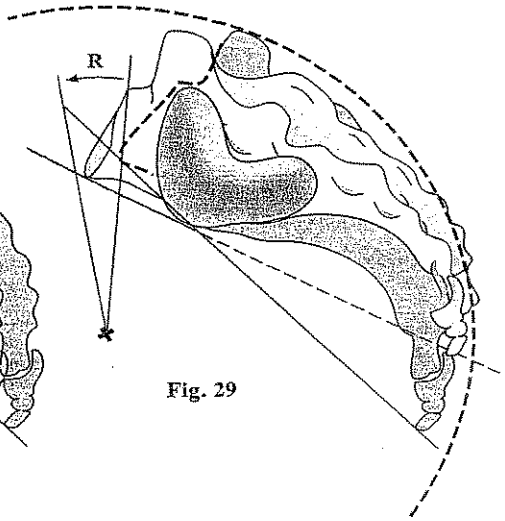


Fig. 29

La sínfisis púbica y la articulación sacro-coccígea

La sínfisis púbica es una **anfiartrosis,** de poca movilidad, casi nula. Sin embargo, al final del embarazo y durante el parto, la imbibición acuosa de las partes blandas permite pequeños movimientos de deslizamiento y la separación de un pubis respecto al otro. En los roedores, estos movimientos son de gran amplitud.
En un **corte horizontal (Fig. 30)**, se distinguen los extremos óseos de los pubis a cada lado de la línea media, cuyas superficies axiales están tapizadas por un cartílago **10** y unidas por un fibrocartílago **11** denominado **ligamento interóseo** en el que se localiza una fina hendidura **12**. En la cara anterior de esta sínfisis se ubica un engrosamiento fundamentalmente fibroso **7-8-9** cuya constitución se abordará más adelante. En su cara posterior se halla el **ligamento posterior de la sínfisis 5**. En una **visión interna (Fig. 31: articulación abierta, lado derecho)**, la superficie articular del pubis aparece ovalada con un eje mayor oblicuo hacia arriba y hacia delante, recubierta por el tendón de inserción del músculo **recto del abdomen 1**. La articulación está bloqueada por delante por un **ligamento anterior 3**, muy grueso, formado por fibras transversales y reforzado por fibras oblicuas, perfectamente visibles en una **visión anterior (Fig. 34)**:

- expansión de las aponeurosis de inserción del **músculo oblicuo externo del abdomen 8**;
- expansión de los músculos **recto del abdomen 7** y **piramidal 2**;
- expansión de los tendones de inserción del **músculo gracil** y del **músculo aductor largo 9**.

Todas estas fibras entrecruzadas forman un tejido denso, el envoltorio **fibroso prepúbico**.
En la **cara posterior (Fig. 33)** se puede observar el **ligamento posterior de la sínfisis púbica 5**, membrana fibrosa que se continúa con el periostio. También se distingue una formación triangular de refuerzo aponeurótico, cuya base se inserta sobre el borde superior de la sínfisis púbica y del pubis, por detrás del músculo recto del abdomen, y cuyas fibras oblicuas acaban insertándose más o menos altas en la línea media de la línea alba se trata del *admuniculum lineae albae* **6**.
En un **corte verticofrontal (Fig. 32)** se puede apreciar la constitución de las superficies articulares con:

- **el cartílago 10** de las superficies púbicas;
- **el fibrocartílago 11**;
- y la **fina hendidura 12** excavada en el grosor del fibrocartílago.

El borde superior de la sínfisis está reforzado por el **ligamento superior 13**, haz fibroso grueso y denso, y el borde inferior está reforzado por el ligamento inferior **4** ó **ligamento arqueado del pubis** en prolongación con el ligamento interóseo, formando un arco de borde cortante que redondea el vértice del arco del pubis.
El grosor y la solidez del arco del pubis **4** puede observarse fácilmente en un corte sagital **(Fig. 31)**. Estos medios de unión tan potentes hacen de la sínfisis púbica una articulación muy sólida, difícil de dislocar. En traumatología, esta alteración es poco frecuente, pero su tratamiento es generalmente difícil, lo que se trata de un hecho sorprendente tratándose de una articulación que, en condiciones normales, carece de movilidad.
La **articulación sacrococcígea** que une el sacro al cóccix es una **anfiartrosis**. Sus superficies articulares son elípticas de eje mayor transversal.
En una **visión lateral (Fig. 37)**, se puede observar que la superficie sacra es convexa, mientras que la superficie coccígea es cóncava.
Los medios de unión están constituidos por un **ligamento interóseo**, análogo a un disco intervertebral y por **ligamentos periféricos** que se clasifican en tres grupos: anteriores, posteriores y laterales.
En una **visión anterior (Fig. 35)**, se puede observar el **cóccix 1**, residuo de la cola, formado por tres o cuatro piezas óseas soldadas entre sí, el **sacro 2**, el **ligamento anterior y**, en la cara anterior del sacro, los vestigios del **ligamento longitudinal anterior 3** que se prolongan por el **ligamento sacrococcígeo anterior 4**. También pueden apreciarse **tres ligamentos sacrococcígeos laterales 5, 6 y 7**.
En **una visión posterior (Fig. 36)**, se pueden observar vestigios ligamentosos sobre la **cresta sacra media 8** que se prolongan por los **ligamentos sacrococcígeos posteriores 9**.
La articulación sacrococcígea está dotada de **movimientos de flexoextensión (Fig. 37)**, que son principalmente **pasivos** y que intervienen en la defecación y en el parto. De hecho, en el movimiento de nutación, la extensión del cóccix (desplazamiento hacia arriba y hacia atrás) que **aumenta el diámetro anteroposterior de la abertura inferior de la pelvis** en el momento de la salida de la cabeza fetal, puede amplificar y prolongar la báscula hacia atrás del vértice del sacro.

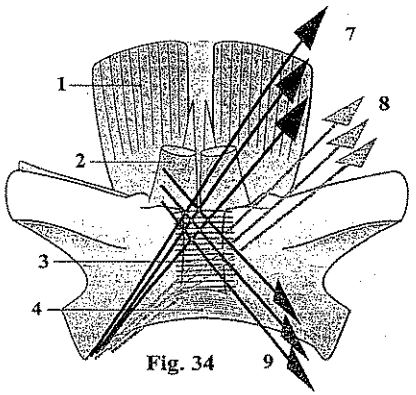


Fig. 34

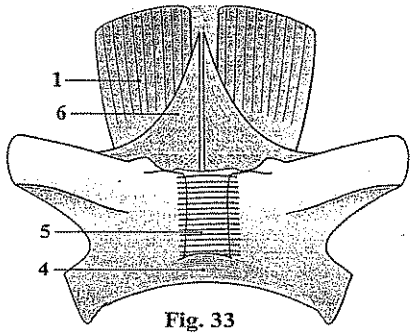


Fig. 33

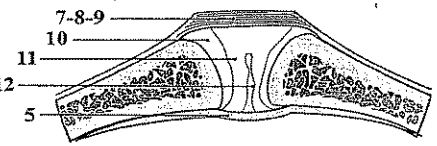


Fig. 30

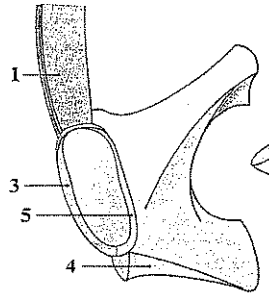


Fig. 31

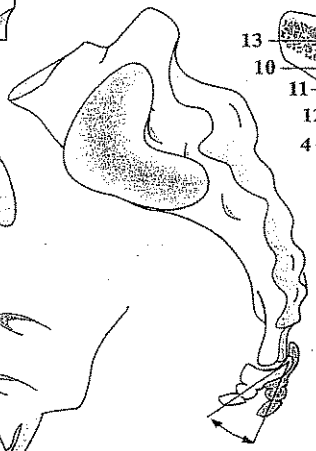


Fig. 37

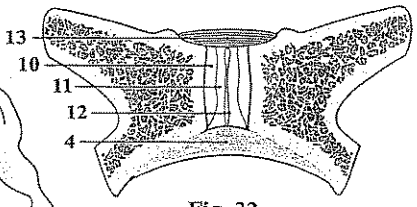


Fig. 32

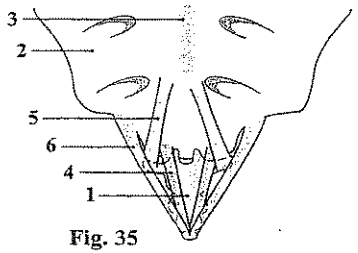


Fig. 35

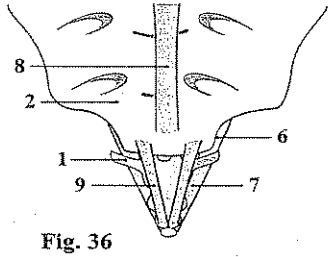


Fig. 36

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

Influencia de la posición sobre las articulaciones de la cintura pélvica

En **bipedestación simétrica**, las articulaciones de la cintura pélvica están solicitadas por el peso del cuerpo. El mecanismo de estas presiones se puede analizar en una **visión lateral (Fig. 38)**, en la que el hueso ilíaco, supuestamente transparente, permite ver el fémur. El conjunto formado por el raquis, sacro, hueso ilíaco y miembros inferiores constituye un sistema articulado: por una parte, en la articulación de la cadera y, por otra, en la articulación sacroilíaca. El peso del tronco **P**, al recaer sobre el sacro, tiende a desplazar hacia abajo el promontorio sacro. Por lo tanto, el sacro se ve solicitado en el **sentido de la nutación N2**, Este movimiento está rápidamente limitado por los ligamentos sacroilíacos anteriores, o **freno de nutación**, y sobre todo, por los **dos ligamentos sacrociáticos** que impiden la separación del vértice del sacro respecto a la tuberosidad isquiática. Simultáneamente, **la reacción del suelo R**, transmitida por los fémures y ejercida a nivel de las articulaciones de las caderas, forma, con el peso del cuerpo sobre el sacro, una pareja de rotación, que tiende a bascular **el hueso ilíaco hacia atrás N1**. Esta retroversión de la pelvis acentúa más la nutación en las articulaciones sacroilíacas. En lugar de movimientos se trata más bien de fuerzas, ya que **los sistemas ligamentosos son muy potentes** y detienen cualquier desplazamiento de inmediato.

En cuanto al equilibrio pélvico, es importante constatar **(Fig. 40)** que el centro de gravedad del cuerpo **G**, en bipedestación simétrica, se localiza en la línea que une **S3** al pubis **P**, es decir aproximadamente a la altura de las articulaciones de las caderas, en torno a las que se lleva a cabo este equilibrio.

En **apoyo monopodal (Fig. 39)**, y en cada paso durante la marcha, la reacción del suelo **R**, transmitida por el miembro portador, eleva la articulación de la cadera correspondiente, mientras que en el otro lado, el peso del miembro en suspensión **D** tiende a descender la articulación de la cadera opuesta. Esto provoca **una compresión en cizallamiento d de la sínfisis púbica** que tiende a elevar el pubis del lado portador **A** y a descender el pubis del lado en suspensión **B**. Normalmente, la solidez de la sínfisis púbica impide cualquier desplazamiento en esta articulación, pero cuando ésta está dislocada, se puede apreciar cómo efectivamente aparece un desnivel **d** en el borde superior de cada uno de los pubis durante la marcha. De igual modo, se puede concebir que **las articulaciones sacroilíacas se soliciten** de forma opuesta en cada paso. Su resistencia a los movimientos se debe a la fortaleza de sus ligamentos, pero cuando una de las articulaciones sacroilíacas resulta lesionada por una dislocación traumática, aparecen movimientos que causan dolor con cada paso. La solidez mecánica del anillo pélvico condiciona pues, tanto la bipedestación como la marcha.

En decúbito, las articulaciones sacroilíacas se solicitan de distinta manera según las articulaciones de las caderas estén en flexión o en extensión.

Cuando las **articulaciones de las caderas están extendidas (Fig. 41)**, la tracción sobre **los músculos flexores** (músculo psoas visible) bascula la pelvis en anteversión, al tiempo que el vértice del sacro se ve impulsado hacia delante. Así se produce una disminución de la distancia entre el vértice del sacro y la tuberosidad isquiática y, simultáneamente, una rotación en la articulación sacroilíaca en el sentido de la contranutación. Esta posición corresponde al trabajo inicial de parto y la contranutación, que ensancha la abertura superior de la pelvis, favorece el descenso de la cabeza fetal hacia la pelvis menor.

Cuando las **articulaciones de las caderas están flexionadas (Fig. 42)**, la tracción de los **músculos isquiotibiales**, representada en la figura, tiende a bascular la pelvis en retroversión respecto al sacro. Esto constituye pues un **movimiento de nutación**; que disminuye el diámetro anteroposterior de la abertura superior de la pelvis y aumenta los dos diámetros de la abertura inferior de la pelvis. Esta posición adoptada durante el **momento del expulsivo** del parto favorece **la salida de la cabeza fetal** durante su paso por la abertura inferior de la pelvis.

Durante el cambio de posición entre la extensión y la flexión de los muslos, la amplitud media del desplazamiento del promontorio es de 5,6 mm. Los cambios de posición de los muslos modifican notablemente las dimensiones de la excavación pélvica para facilitar el paso del feto durante el parto. La flexión de los muslos sobre la pelvis corrige la lordosis lumbar **(Fig. 41)** que permite deslizar la mano por debajo de los riñones **(flecha ancha gris)**.

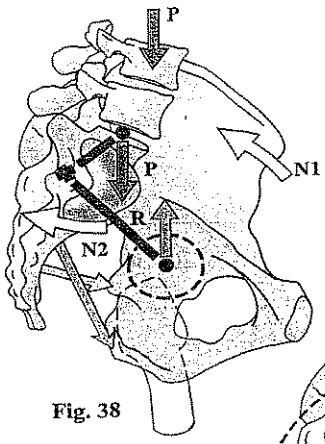


Fig. 38

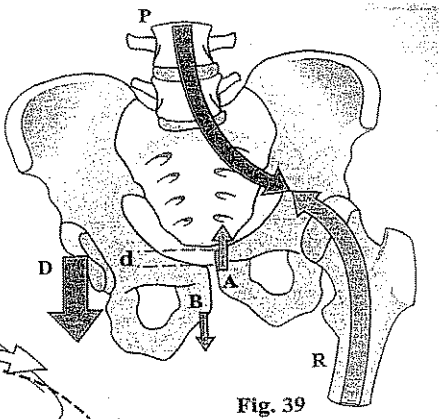


Fig. 39

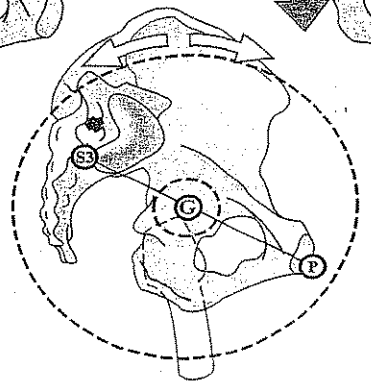


Fig. 40

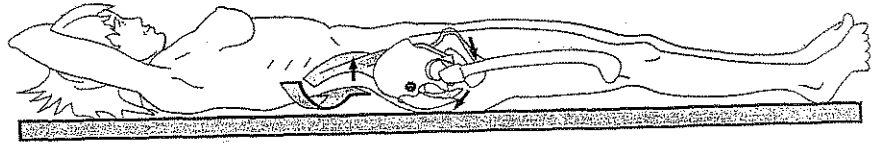


Fig. 41

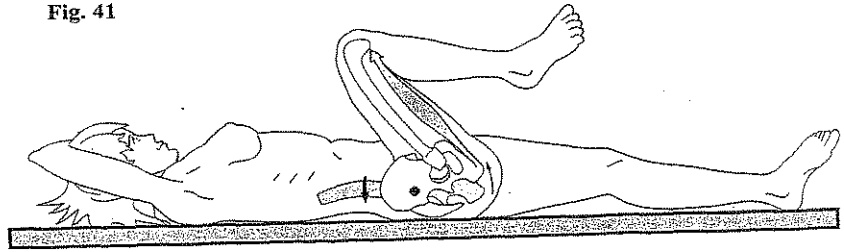


Fig. 42

La pared pélvica

En una visión **interna de la hemipelvis derecha (figura 43, se ha retirado el hueso coxal izquierdo)** aparecen únicamente el hueso coxal derecho y el sacro, acompañados por dos ligamentos sacrociáticos:

- el **ligamento sacroespinoso 1**, que se extiende del borde externo del sacro a la espina ciática;
- el **ligamento sacrotuberoso 2**, que se extiende de la parte inferior del borde externo del sacro y del cóccix, a la tuberosidad isquiática, con su prolongación falciforme 3 sobre la rama isquiopúbica.

Con los dos huesos, estos dos ligamentos delimitan dos agujeros, uno superior **s** en la gran incisura, y uno inferior **i** en la pequeña incisura, que comunican la cavidad pélvica con la raíz del miembro inferior.

En la misma **visión interna de la hemipelvis derecha (Fig. 44)**, se han añadido dos músculos, que salen de la pelvis por estos dos agujeros:

- el **músculo piriforme 4**, que se origina en la cara anterior del sacro, de una parte y otra del segundo y tercer agujeros sacros, para insertarse sobre el trocánter mayor, tras haber pasado por la gran incisura.

Por esta gran incisura salen simultáneamente:

– la importante arteria glútea, por arriba **(flecha roja superior)**,

– el nervio ciático; por abajo **(flecha amarilla)**;

- el **músculo obturador interno 5**, que se inserta sobre el contorno del **agujero obturado** (denominado antiguamente agujero obturador, denominación heredada de los clásicos: es contradictoria, puesto que un agujero no puede ser más que obturado) y la superficie cuadrilátero **c**. Se pliega en ángulo agudo sobre el borde posterior de la pequeña incisura, y se dirige por delante y por fuera, en compañía de los músculos gemelos (no visibles en esta figura) para insertarse en el trocánter mayor.

Por esta pequeña incisura también sale la arteria isquiática los **(flecha roja inferior)**. Estos dos músculos son rotadores externos de la extremidad inferior (*véase el Tomo 2*).

Siguiendo con está misma **visión interna de la hemipelvis derecha (Fig. 45)**, aparecen otros dos músculos motores del miembro **inferior, flexores.** Salen de la pelvis y pasan por debajo del arco inguinal **ai** y por encima de la rama horizontal del pubis. Son:

- el músculo **ilíaco 6**, que se inserta en toda la extensión de la fosa ilíaca interna;
- el músculo **psoas mayor** (psoas, para los clásicos) 7, que se origina en las apófisis transversas lumbares.

Estos dos músculos se unen en un **músculo iliopsoas** para insertarse por medio de un tendón común sobre el trocánter menor.

En **una visión interna (Fig. 46)**, en esta pared osteomuscular de la pelvis así constituida, se inserta el **músculo elevador del ano 8**, músculo amplio, que, simétrico al diafragma, forma la pared inferior de la pelvis y se inserta sobre una línea que rodea la pared pélvica. Estas inserciones son, de delante atrás:

la cara posterior del pubis;

- el arco fibroso del agujero obturado;
- el arco tendinoso que une el borde externo de esta arcada con la espina isquiática;
- la cara interna del ligamento menor sacrociático;
- la parte inferior del borde externo del sacro y del borde externo del cóccix;
- el ligamento anococcígeo, banda fibrosa que se extiende de la punta del cóccix al ano **a**.

Esta amplia capa muscular, constituida por varios haces bien descritos por los anatómicos, conformará **el cierre inferior del abdomen**, que **contiene y sujeta así todas las vísceras abdominales y pélvicas**. Sin embargo, este cierre se ve inevitablemente interrumpido en la línea media para permitir el paso de **conductos importantes**: sólo dos en el hombre, **el ano y la uretra**, y un tercero en la mujer, **la vagina**. Así pues, entre los dos músculos elevadores, existe una abertura media, un espacio más o menos amplio que se extiende desde el ano a la sínfisis púbica.

¡Este es el problema del periné...!

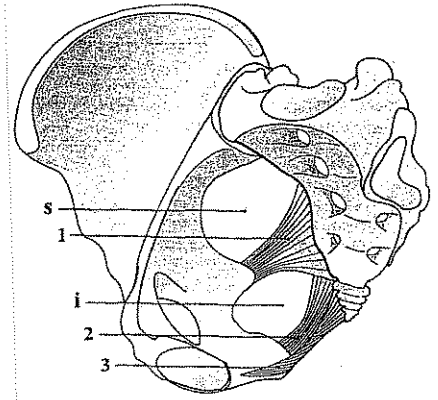


Fig. 43

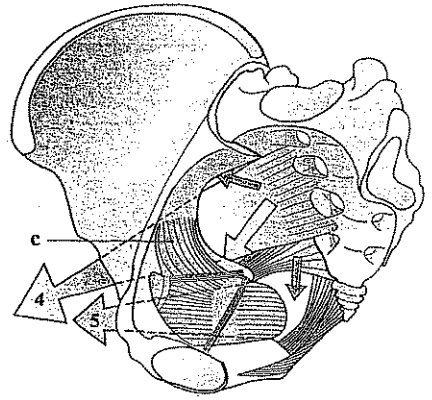


Fig. 44

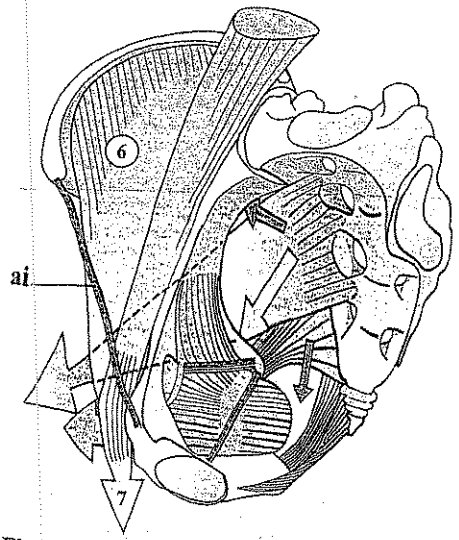


Fig. 45

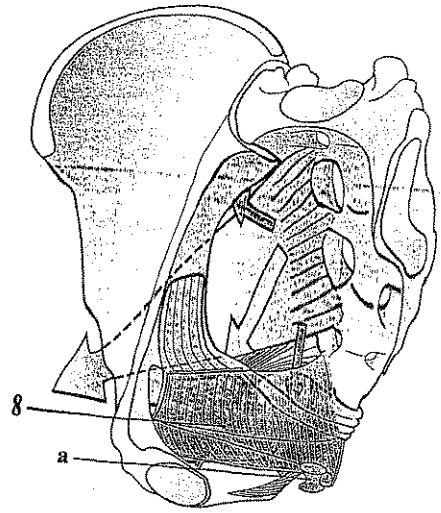


Fig. 46

El diafragma pelviano inferior

En una **visión posteroinferior externa de la pelvis (Fig. 47)** se muestra perfectamente la amplia capa muscular del músculo elevador del ano, con sus distintos haces, envolviendo el agujero anal **a**.
Este músculo cierre **(Fig. 48)** forma un péndulo, simétrico del diafragma torácico. Tienen la misma función **de separación y de contención visceral** que su homólogo, y, como éste, también debe incluir agujeros que dejen paso a órganos importantes.
Es por lo que este cierre contiene una amplia hendidura, la hendidura urogenital **h (Fig. 49)**, de estructura distinta en el hombre que en la mujer. En los dos sexos, sin embargo, el ano, situado en su parte posterior, está envuelto por un haz especial, el haz propiamente denominado **elevador**. Sus fibras se tejen más o menos con el esfínter del ano y desempeña un papel importante en el mecanismo de la contención anal y de la defecación.

En un **corte frontal (Fig. 50)**, puede constatarse que este cierre no es horizontal, sino oblicuo, en forma **de embudo** en el espacio, abierto abajo por la hendidura urogenital **h**. Sobre todo, puede constatarse que está doblado por un segundo cierre, más superficial, el periné ***P***, cierre horizontal cuya estructura difiere notablemente según el sexo.
Una **visión posterior (Fig. 51)** muestra con claridad estos dos planos:

- el plano profundo del músculo elevador, con sus haces posteriores **8** y anteriores **8'**;
- el plano superficial del periné **P**, que se inserta por fuera en las ramas isquiopúbicas uniéndose en el centro en el esfínter del ano **ea** y el ligamento anococcígeo **r**.

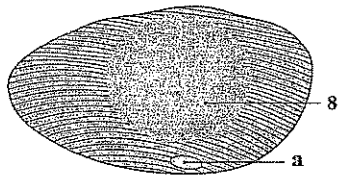


Fig. 48

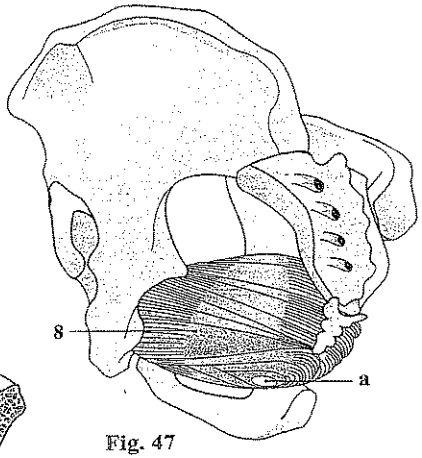


Fig. 47

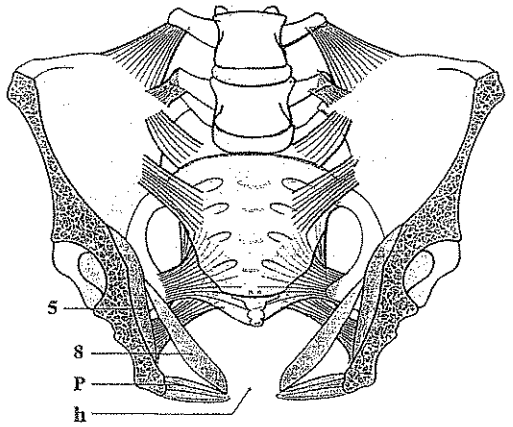


Fig. 50

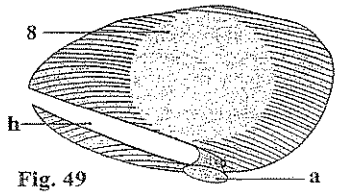


Fig. 49

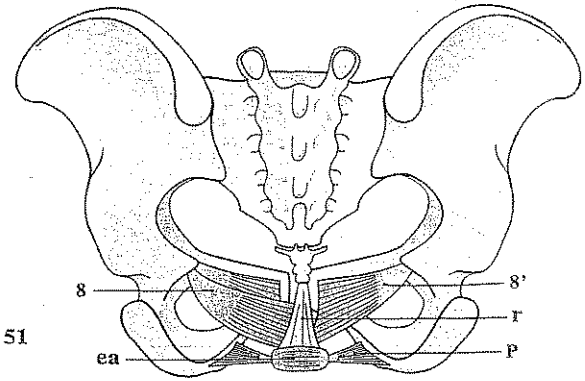


Fig. 51

El periné femenino

Una **visión posteroinferior externa izquierda de la pelvis femenina (Fig. 52)** permite detallar minuciosamente la estructura en dos planos del periné femenino.

- El plano superficial está constituido por el **músculo transverso superficial del periné** 1, que se extiende transversalmente de una rama isquiopúbica a la otra.

Se asocian dos músculos esfinterianos (es decir con forma circular, permitiéndoles así controlar el calibre de un agujero natural. Por comparación, en la cara, existe un músculo orbicular de los labios):

- por delante se halla el músculo **compresor de la uretra 4** que envuelve el agujero vulvar v;
- por detrás el **esfínter anal 5**, que envuelve con un anillo muscular el canal anal a.

- El plano profundo está constituido por dos músculos:
  - el **músculo transverso profundo del periné 2**, situado en profundidad en relación al precedente, y que posee las mismas inserciones y la misma trayectoria;
  - **el músculo isquiocavernoso 7**, apreciable en transparencia, envuelve el cuerpo cavernoso. Este último, se inserta en la rama isquiopúbica, y forma el clítoris uniéndose con su homólogo bajo la sínfisis púbica. El músculo, cuya función es la de comprimir el cuerpo cavernoso, tiene la misma disposición que este último.
- Entre estos dos planos se extienden las fascias superior e inferior del diafragma uro-genital 3 que sobrepasan ligeramente por detrás 3´ los músculos transversos.
- En el centro de este dispositivo, todos los planos se confunden en un cruce cerrado de fibras musculares y aponeuróticas, que constituyen el anillo fibroso central del periné **6**, elemento totalmente fundamental para la solidez del conjunto.

Todos estos elementos son visibles en una **visión en situación (Fig. 53)**, que se corresponde con la posición ginecológica.

Igualmente, en una **visión aislada, en perspectiva (Fig. 54)**, pueden reconocerse todo los elementos que se han descrito anteriormente.

Una **visión en perspectiva que asocie el periné superficial y el músculo elevador del ano (Fig. 55)** permite entender las relaciones existentes.

Contrariamente al periné masculino, el periné femenino se ve sometido a grandes traumatismos, especialmente durante el parto, en el cual el recién nacido debe abrirse camino mediante la fuerza a través de la hendidura urogenital. Esto puede tener consecuencias en la estática pélvica y desencadenar distintos tipos de prolapsos urogenitales.

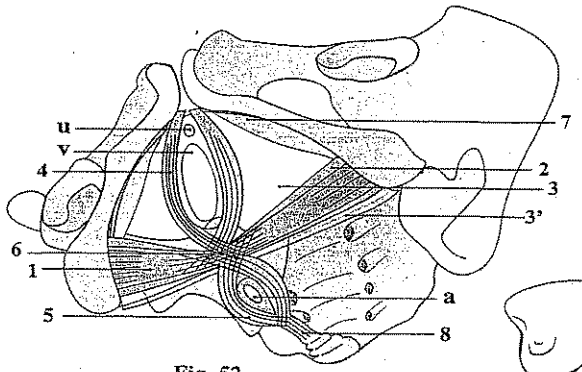


Fig. 52

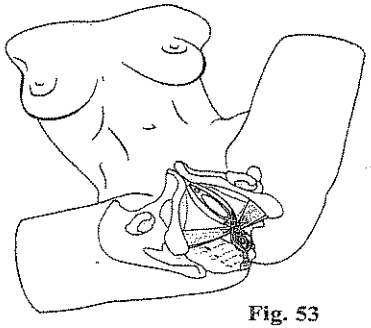


Fig. 53

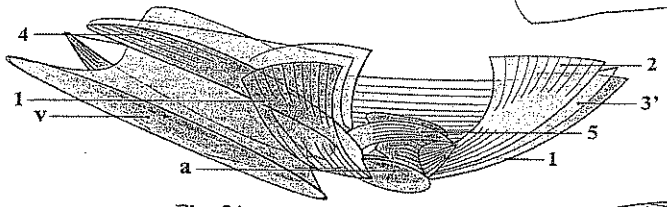


Fig. 54

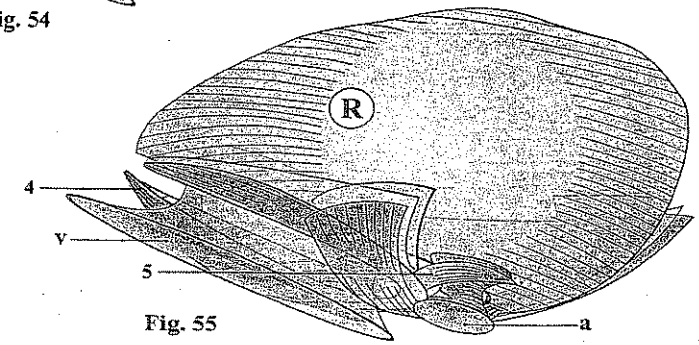


Fig. 55

Los volúmenes abdomino-pélvicos

Una **visión en perspectiva anterosuperior (Fig. 56)** evidencia el volumen virtual de la cavidad abdomino-pélvica. Este volumen global se divide en dos mediante la abertura superior **en rojo** en una **visión en perspectiva de las tres aberturas (Fig. 57)**.
La abertura superior se sitúa en el anillo pélvico. Se trata de **una línea circular continua que se extiende desde el promontorio sacro** (prominencia del borde anterior de la meseta superior de la 1ª vértebra sacra) hasta **el borde superior de la sínfisis púbica**.
Esta pasa, a cada lado, por la **línea arqueada** del ilion.
Las dimensiones de estos agujeros son bien conocidas y muy grandes durante la gestación. Pueden medirse con relativa facilidad gracias a las pruebas radiológicas.
Si se retoma la primera visión en perspectiva, puede constatarse que el **volumen abdominal** propiamente dicho **(en transparente claro)**, situado por encima de la abertura superior, es claramente mayor que el **volumen de la pelvis menor**, situado por debajo **(volumen azulado)**.

La visión en perspectiva **(Fig. 57)** evidencia dos aberturas más, también muy importantes en el momento del parto para el paso de la cabeza fetal:

- la **abertura media (línea verde)**, delimitada por cuatro puntos:
  - el borde inferior de la sínfisis púbica,
  - las espinas isquiáticas,
  - la cara anterior del sacro;
- la **abertura inferior (línea azul)**, también está delimitada por cuatro puntos:
  - el borde inferior de la sínfisis púbica,
  - el extremo del cóccix,
  - la cara interna de las dos tuberosidades isquiáticas.

El bebé a término cuando migra de su posición abdominal a su posición pélvica, y luego hacia el exterior, se colocará en lo que se ha venido a denominar el **conducto genital (Fig. 58)**, materializada de una forma idónea por un gran tubo, con un codo hacia delante y que pasa a través de las tres aberturas.

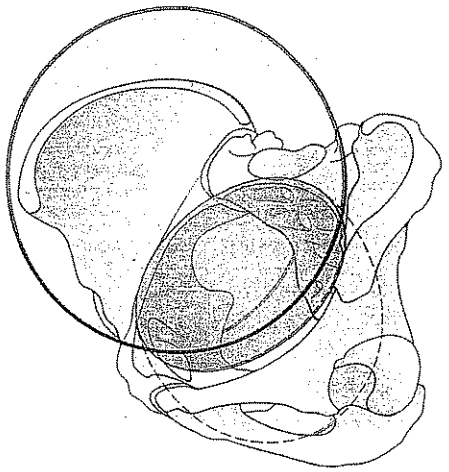


Fig. 56

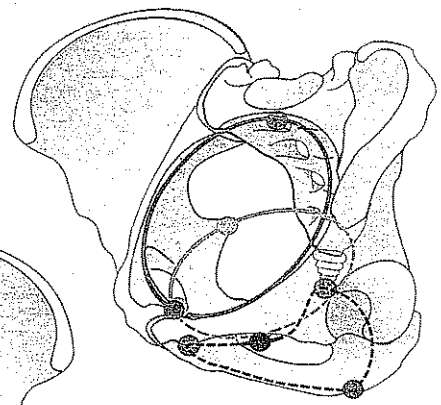


Fig. 57

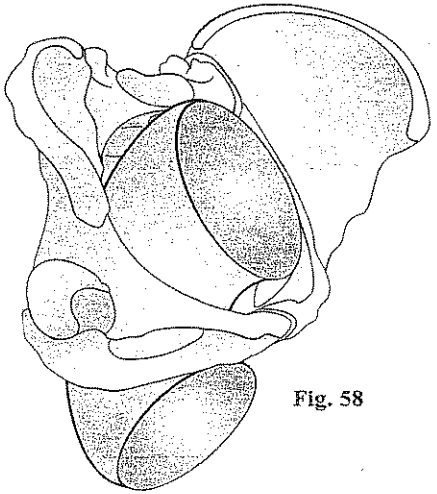


Fig. 58

El parto

Esta obra no es un tratado de obstétrica, por lo tanto no se van a detallar los mecanismos del parto normal, y, con mayor razón, tampoco los de un parto patológico.

Este acto fisiológico es sin duda interesante, ya que pone **en juego el aparato locomotor, en sentido amplio**, es decir el esqueleto, las articulaciones y los músculos del abdomen y de la pelvis.

Llegada a termino, la gestación debe continuar con el **parto**, es decir con la **expulsión** del recién nacido por las vías naturales. Es necesario subrayar el hecho de que el parto, traer al mundo de un niño recién nacido, es un **acto fisiológico**, una acción natural, que desde tiempos inmemoriales ha permitido la perpetuación de la especie humana. La ciencia de la obstétrica no es más que el conocimiento de los mecanismos de un parto normal y de las perturbaciones que pueden acontecer durante su desarrollo, con el objetivo de llegar a lo que se ha venido a denominar un final feliz.

Cuando se desencadena el parto, acontece un verdadero **zafarrancho de combate** en el organismo de la parturienta: la migración del recién nacido a través de la hilera genital supone una sucesión de fenómenos muy bien coordinados.

En primer lugar (**Fig. 59**), bajo el **pujo abdominal**, la cabeza fetal atraviesa la abertura superior: se trata del **encajamiento**. La cabeza del recién nacido está en la pelvis menor. La posición que favorece la amplitud de la abertura superior mediante el mecanismo de la **contra-nutación** es el decúbito supino, con los miembros inferiores estirados (**véase la Fig. 41, pág. 67**).

La potente musculatura del útero (**Fig. 60**), está compuesta por fibras circulares, oblicuas y longitudinales, y comenzará a contraerse, **de forma rítmica**, mientras que el agujero del cuello uterino comienza a **dilatarse**. Se trata del período de las contracciones, también denominado período de **trabajo de parto**.

El aumento de los diámetros pélvicos se ve facilitado por la separación de la sínfisis púbica (**Fig. 62**): el estado hormonal del final del embarazo favorece la flexibilidad de la anfiartrosis púbica, que puede separarse casi 1 cm, lo que aumenta todos los diámetros, comenzando por el de la abertura superior.

Cuando el agujero cervical esta dilatado al máximo, la fase de expulsión comienza, para lo que es necesario que aumente el diámetro de la abertura inferior. Esta depende del mecanismo de **nutación**, que, como se ha podido ver, se ve favorecido por la flexión de las caderas sobre la pelvis (***véase* la Fig. 42 pág. 67**).

La posición ancestral, aquella que todavía emplea una gran parte de la humanidad, es **la suspensión por los brazos** (**Fig. 63**): debido a la flexión de las caderas, **favorece la nutación**, y por lo tanto la abertura inferior, y por la posición vertical, favorece el pujo abdominal, gracias al peso de las vísceras, a la acción del diafragma torácico y a la contracción de la cincha abdominal (**Fig. 61**). Los músculos más eficaces no son entonces los músculos rectos del abdomen, sino más bien los músculos amplios, el músculo oblicuo externo del abdomen así como el músculo oblicuo interno del abdomen y sobre todo el **músculo transverso del abdomen**, que desplaza hacia atrás, hacia el raquis y hacia el eje del **conducto genital**, ese útero desproporcionado, inclinándose por fuera del abdomen y por encima de la sínfisis púbica.

Las características anatómicas y funcionales del periné femenino hacen que esté expuesto a desórdenes funcionales provocados por la edad y, para algunas mujeres, por los múltiples embarazos. La hendidura urogenital constituye entonces un objetivo posible para las vísceras de la pelvis, la vejiga y la uretra, al igual que el útero. Todo esto puede provocar un descenso de estos órganos, denominado **prolapso**.

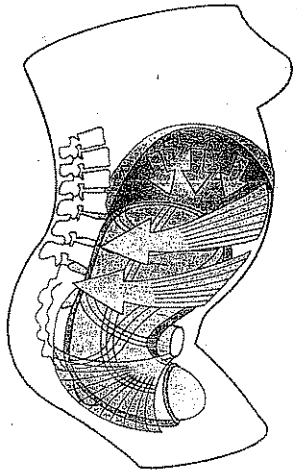


Fig. 59

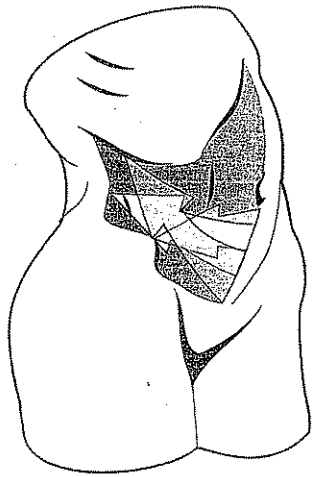


Fig. 61

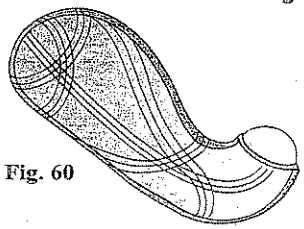


Fig. 60

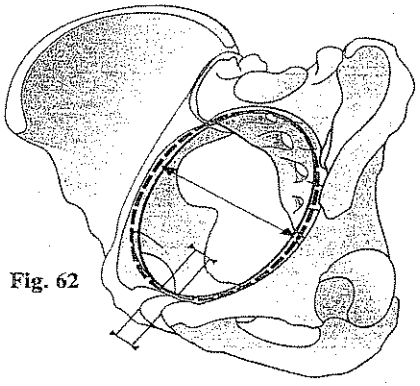


Fig. 62

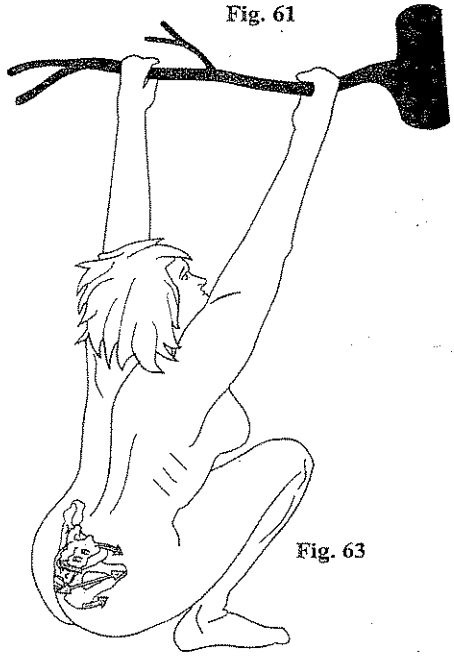


Fig. 63

Micción y defecación: ejemplo del periné femenino

Los músculos del periné controlan funciones esenciales como la **micción**, la **defecación** y la **erección**. Tomando como ejemplo el periné femenino en el caso de la micción y de la defecación, que son comunes a ambos sexos, se abordarán primero los mecanismos de la contención urinaria y de la micción.

El control urinario

La vejiga es un **reservorio** que permite compensar la secreción permanente de la orina por los riñones y evacuarla cuando se desea. La replección de la vejiga desencadena el deseo de orinar. La **contención** y la **micción voluntarias** son entonces funciones muy útiles para la autonomía de cada individuo.

La **contención urinaria (Fig. 64, figura femenina)** permite el llenado progresivo de la vejiga v, el órgano más anterior de la pelvis. Mientras que el **músculo esfínter liso de la uretra 1**, formado por fibras lisas, está contraído, la vejiga es continente. Un segundo músculo, el músculo **esfínter externo de la uretra 2**, que forma parte del plano superficial del periné, está compuesto de fibras musculares estriadas, y por lo tanto voluntarias, y se localiza más abajo del precedente sobre la uretra posterior y controla la contención, pero también la micción. Es pues la contracción voluntaria de este músculo esfínter la que permite contener la micción cuando se siente una necesidad muy importante de orinar.

En la **micción (Fig. 65)**, o acto de orinar, o también de *satisfacer la necesidad de orinar*, intervienen cuatro factores:

- la relajación del **músculo esfínter liso de la uretra**;
- la contracción del **músculo detrusor**, músculo liso de la pared de la vejiga;
- la relajación del **músculo esfínter externo de la uretra** posterior;
- la contracción de los músculos del **esfuerzo abdominal**, diafragma **d**, músculos largos del abdomen, y especialmente el músculo oblicuo interno del abdomen 5 y sobre todo el músculo transverso del abdomen 6.

El control fecal (o de materias fecales)

Las materias fecales se acumulan en el recto, porción terminal de gran calibre del colón sigmoideo continuación del colon izquierdo. Cuando el recto r está lleno, se siente necesidad de evacuarlo.

La **contención fecal (Fig. 66)** está controlada por dos factores:

la acción del **músculo elevador del ano 3**, cuyo haz más interno envuelve por detrás el conducto anal, y que, debido a su contracción, envuelve este conducto de ángulo agudo, desplazándolo hacia delante;

el **músculo esfínter externo del ano 4**, forma parte del plano superficial del periné y está compuesto por fibras musculares estriadas, y por lo tanto voluntarios, localizadas más abajo del precedente. Controla la contención así como, por su relajación, la defecación.

La **defecación (Fig. 67)**, o la evacuación de materias fecales, están bajo la dependencia de cuatro factores: la relajación del músculo elevador del ano 3, lo que permite al conducto anal retomar su posición rectilínea y vertical;

- la contracción de los músculos lisos de la pared del recto r, y en particular de las pequeñas bandas longitudinales y de las fibras circulares, en forma de mecanismo peristáltico, contracción sucesiva de fibras a modo de ondas que progresan hacia abajo;
- la relajación del músculo esfínter externo del ano 4;
- la contracción de los músculos del esfuerzo abdominal, diafragma **d**, músculos largos del abdomen, especialmente el músculo oblicuo externo del abdomen 5 y sobre todo el músculo transverso del abdomen 6.

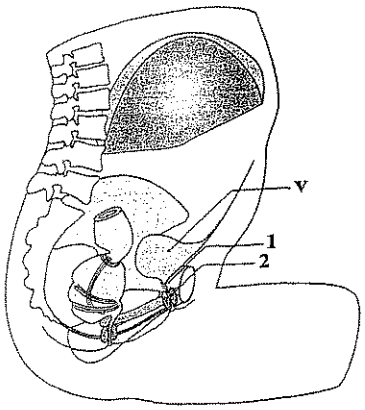


Fig. 64

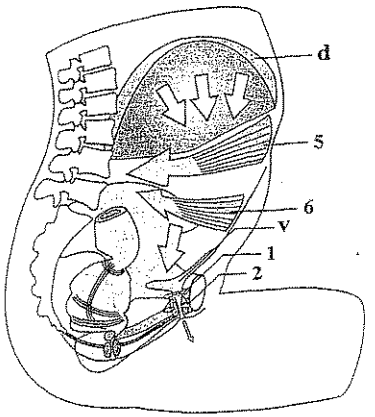


Fig. 65

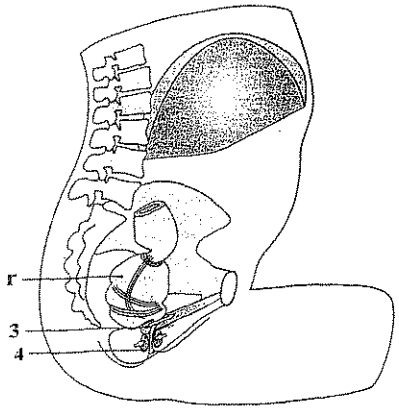


Fig. 66

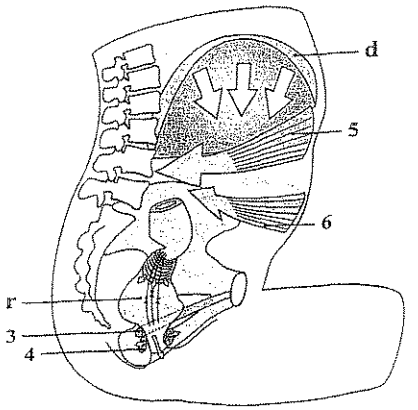


Fig. 67

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

El periné masculino

A diferencia del periné femenino, ¡el periné masculino no tiene historia...! No existe la posibilidad de parir y por lo tanto no hay prolapsos. Tampoco se da la incontinencia urinaria, excepto en el posoperatorio. Sin embargo, el hombre puede padecer retención urinaria, a consecuencia de la patología prostática...

Anatómicamente, el **periné masculino (Fig. 68)** está compuesto por las mismas formaciones que el periné femenino, aunque existe una diferencia capital: la ausencia de la abertura urogenital....

Su arquitectura se presenta en dos planos con:

- el **músculo transverso profundo del periné 1;**
- el **músculo transverso superficial del periné 2.**

Separados por:

- la **aponeurosis perineal media 3**, que se expande por todo el triángulo anterior del periné;
- el **músculo esfínter anal 4**,unido al cóccix 6 por el **ligamento anococcígeo 5;**
- el **músculo esfínter externo de la uretra 6;**
- todo ello unido en el centro por el **núcleo fibroso central 7.**

La abertura urogenital está reemplazada por el aparato erector constituido por **tres cuerpos eréctiles**, especie de esponjas que pueden aumentar de volumen si se llenan de sangre, gracias a las arterias pudendas.

Asimismo, a lo largo de las ramas isquiopúbicas, se localizan los **dos cuerpos cavernosos 8**, envueltos por **los músculos isquiocavernosos 9**. Tras unirse en la línea media, por debajo de la sínfisis púbica, cada uno forma la parte *dorsal externa del pene.*

Envolviendo la **uretra u**, tras haber atravesado el periné, se halla el **cuerpo esponjoso 10** que, envuelto por el **músculo bulboesponjoso 11**, se dirige hacia la línea media, suspendido en la aponeurosis perineal, hacia la confluencia de los cuerpos cavernosos, para formar con ellos la verga, o **pene v.** Los tres cuerpos eréctiles están entonces envueltos por **una capa de fibras aponeuróticas inextensible**, la túnica albuginea, que desempeña el papel de vaina dándole rigidez al pene durante la erección. La uretra masculina finaliza por el meato urinario al término de la verga, en el extremo del glande.

El **control urinario, la contención (Fig. 69)**, *se basa en los mismos elementos que en el caso de la mujer, pero con un aspecto suplementario, la próstata* **P.**

Esta glándula, situada en la base de la vejiga y alrededor de la uretra inicial, tiene como función segregar el líquido espermático.

El tiempo normal, cuando la **vejiga 1** se llena, dos esfínteres garantizan la continencia:

- el **esfínter liso del cuello vesical 2**, que envuelve la uretra inicial intraprostática;
- el **esfínter externo 3**, voluntario, localizado en la punta de la próstata. Es este último el que garantiza la contención voluntaria.

Cuando existe un adenoma de próstata, la hipertrofia de la glándula hace que esta sobresalga sobre la uretra inicial e impida la evacuación de la vejiga, que se dilata en retención y forma un **globo vesical g (línea punteada)** que invade por arriba el pubis.

La **micción (Fig. 70)** se lleva a cabo por la contracción del músculo liso de la vejiga, el detrusor, mientras que se relaja el **esfínter liso 2** y **el esfínter externo 3**. El empuje abdominal en general no es necesario, excepto en casos de retención.

La **erección**, la rigidez del pene, es fácil de entender, por comparación, empleando un elemento de cotillón denominado "mata suegras". Se trata de un tubo hueco de papel, cerrado en un extremo y compuesto por una especie de muelle que hace que se pliegue sobre sí mismo (**Fig. 71**). Cuando se sopla en su interior (**Fig. 72**), por su extremo abierto, se hincha, se expande volviéndose rígido. Durante la erección, son los cuerpos cavernosos y el cuerpo esponjoso los que, al igual que el tubo de papel, se hinchan y se tornan rígidos gracias a la afluencia de sangre que llevan las arterias pudendas.

Se puede realizar **un experimento demostrativo** con una manguera unida a un grifo con entrada y salida (**Fig. 73**). Cerrando el grifo de salida (**Fig. 74**), lo que se corresponde con el cierre de las venas pudendas, el llenado a través del grifo de entrada hincha la manguera. Pero si, además, se cierra la manguera en la base (**Fig. 75**), como hacen los músculos isquiocavernosos y bulboesponjosos, el volumen y la rigidez aumentan. Se trata del **espasmo muscular** que se produce a la vez que la **eyaculación** y que constituye el orgasmo. La erección permanente e involuntaria constituye el priapismo; ¡situación verdaderamente dramática!.

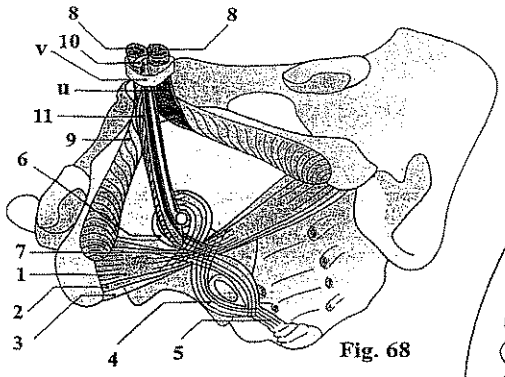


Fig. 68

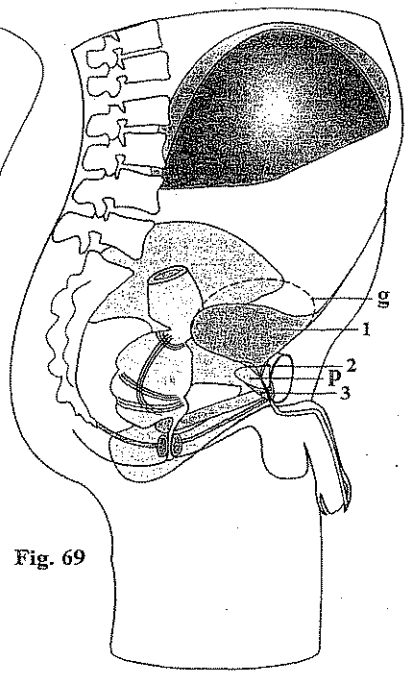


Fig. 69

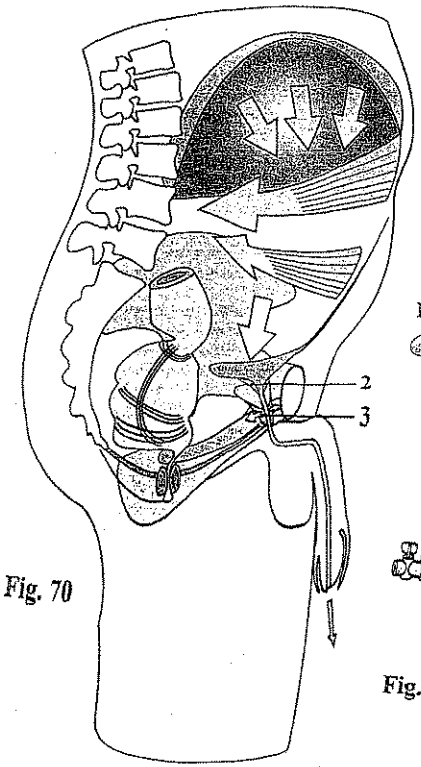


Fig. 70

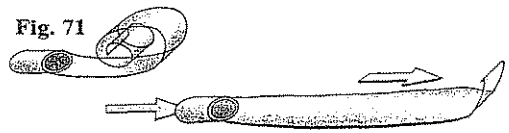


Fig. 71

Fig. 72

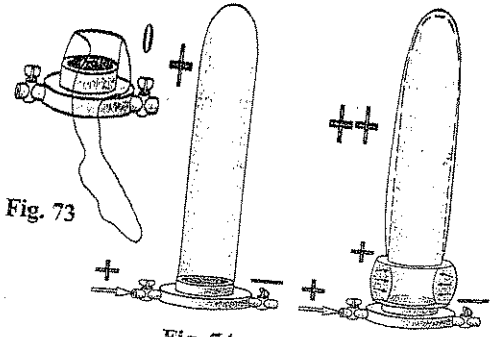


Fig. 73

Fig. 74

Fig. 75

Las referencias externas de la pelvis: el rombo de Michaelis y el plano de Lewinneck

Además de las pruebas radiológicas más o menos perfeccionadas, es posible, mediante un simple examen clínico, conocer la estructura de la pelvis, gracias a puntos de referencia posteriores y anteriores.
En el **raquis femenino y también masculino (Fig. 76)**, es fácil localizar en la línea media el **sillón raquídeo**, depresión entre las masas musculares paravertebrales, que corresponde a la línea de las **apófisis espinosas**. Este sillón se interrumpe caudalmente en la región sacra, es decir en el **sacro**. Es en este lugar en el que se dibuja **el rombo de Michaelis**, delimitado por sus cuatro ángulos:

- a cada lado de la línea media, las **dos fositas sacras**;
- en el ángulo superior, el extremo inferior del **sillón raquídeo**;
- en el ángulo inferior, **el vértice de la hendidura interglútea**.

Dibujado de este modo, este rombo está compuesto por un **eje mayor vertical**, en la línea media, en prolongación del sillón raquídeo, y un **eje menor transversal**, perpendicular al anterior, que se extiende de una fosa sacra a la otra.
La longitud del eje menor es constante; sin embargo, la del eje mayor es variable, lo que, dependiendo de los individuos, hace que cambie el aspecto del rombo, más o menos alargado.
Desde el periodo clásico griego, los escultores y los pintores siempre han representado este rombo en sus obras, y pueden apreciarse en todos los cuadros y esculturas. Algunos artistas modernos conocen su nombre; sin embargo, en el ámbito del cuerpo médico, sólo los médicos especialistas en obstetricia están instruidos. No se trata de una casualidad, ya que su inventor fue un ginecólogo alemán, **Gustav Adolph Michaellis** (1798-1848), habitante de Khiel, y que, en los tiempos en los que la radiografía todavía no existía, halló esta forma de apreciar las posibles deformaciones de la pelvis de sus futuras parturientas, preludio de las distocias.
Gracias a la **radiografía**, actualmente es posible saber a qué estructuras corresponde este rombo. En **placas anteriores (Fig. 77)**, tomadas tras haber marcado los cuatro ángulos con plomos de pesca, se puede constatar esta correspondencia:

- las **dos fositas** se proyectan de forma constante en **la parte superior de las articulaciones sacro ilíacas**;
- el ángulo superior adopta posiciones variables, **L4 o L4 -L5**;
- en cuanto al ángulo inferior, también puede migrar ligeramente en torno a su proyección en S3.

Este rombo es una región especialmente estética, lo que ha hecho que muchos la denominen "divino rombo". Se corresponde con el sacro y la unión lumbosacra y presenta un gran interés para los cirujanos y los reumatólogos.
De hecho, esta región lumbosacra (Fig. 78) puede localizarse mediante tres referencias:

- **el espacio interespinoso L4-L5**, cruce en la línea **media** de la línea (línea **punteada**) trazada entre el vértice de las dos crestas ilíacas;
- **las dos fositas sacras**, en las que es posible realizar una infiltración de medicamento en la articulación sacroilíaca;
- **el punto de infiltración del primer agujero sacro-dorsal y superior**, a través del cual es fácil realizar una **infiltración peridural baja**, en las isquiáticas, por ejemplo. Este punto (**azul oscuro**) se localiza dos traveses de dedo por debajo de L4-L5 y a dos traveses de dedo de la línea media. Tras haber llevado a cabo pacientemente la anestesia de los planos superficiales, es posible buscar este agujero sacro con una aguja bastante larga: cuando ésta no halla contacto con la cortical del sacro. Tras empujarla 1' cm, el líquido medicamentoso puede inyectarse.

En **la cara anterior de la pelvis (Fig. 79)**, las tres prominencias óseas de las dos espinas ilíacas anterosuperiores y del pubis delimitan **el triángulo de Lewinneck**, sobre el que reposa la pelvis en **decúbito prono (Fig. 80)**. Este triángulo sirve de referencia para la determinación estéreotaxica de la pelvis en las intervenciones guiadas por ordenador.

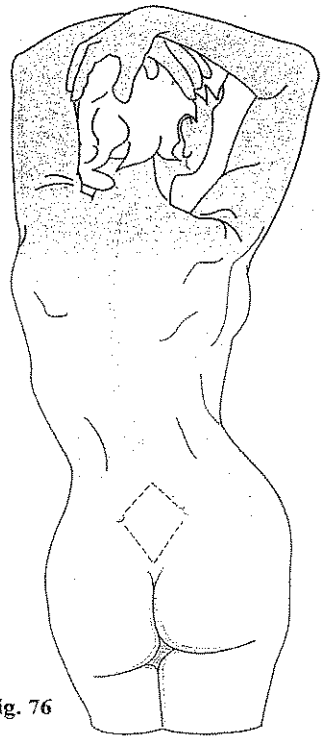


Fig. 76

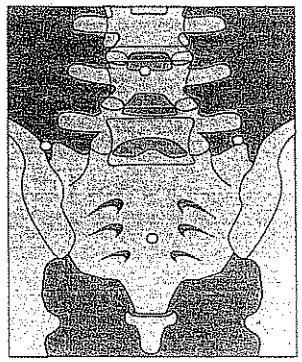


Fig. 77

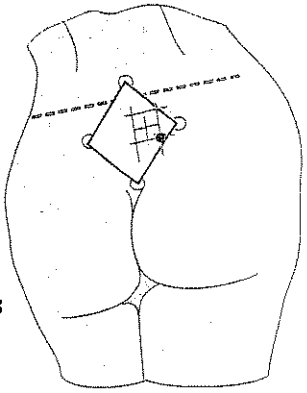


Fig. 78

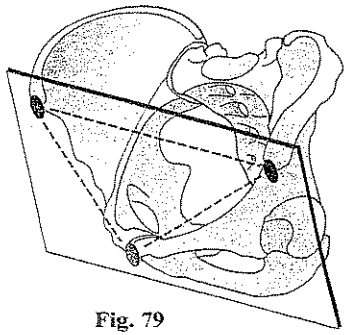


Fig. 79

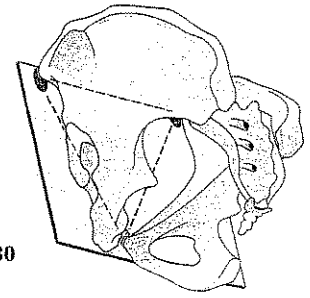


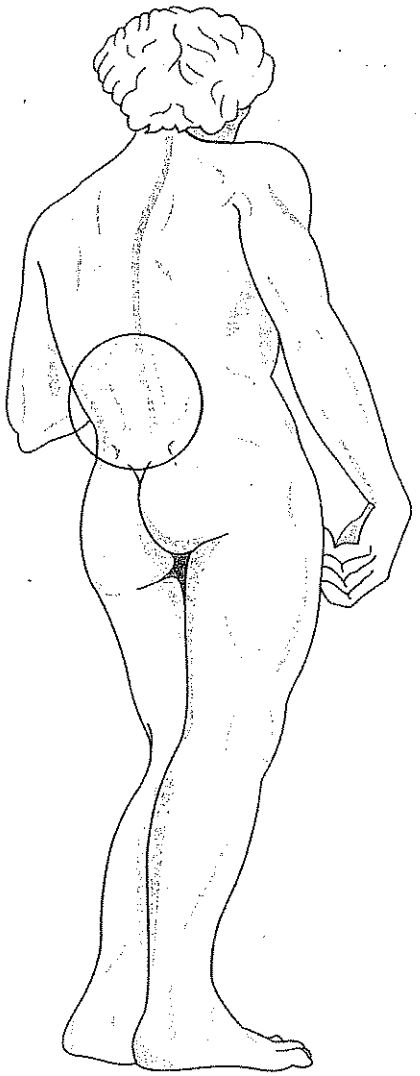
Fig. 80

Capítulo 3

EL RAQUIS LUMBAR

El raquis lumbar reposa sobre el zócalo de la pelvis, articulándose con el sacro. A su vez, soporta el raquis torácico, al que están asociados el tórax y la cintura escapular.

Tras el raquis cervical, el raquis lumbar es el **más móvil** del conjunto del raquis, y, como se trata del **más cargado** por el peso del tronco, es el que plantea más problemas en lo que a patología se refiere: es en su nivel donde se localiza la más frecuente de las alteraciones reumatológicas, **la lumbalgia**, con su corolario, la **hernia discal**.



El raquis lumbar en conjunto

En **una visión frontal (Fig. 1)**, en una radiografía, el raquis lumbar es **rectilíneo y simétrico** en relación a la línea de las espinosas **m**; la anchura de los cuerpos vertebrales al igual que la de las apófisis transversas decrece regularmente de abajo arriba. La **línea horizontal h** que discurre por la parte más elevada de las dos crestas ilíacas, pasa entre **L4** y **L5**. Las verticales **a** y **a'** trazadas desde **el borde lateral del ala sacra** van a caer aproximadamente en **el fondo del acetábulo**.

En **una visión de perfil (Fig. 2)** en una radiografía, pueden constatarse las características de la **lordosis lumbar** y de la estática raquídea descritas por De Seze:

- el **ángulo sacro a** está constituido por la inclinación de la meseta superior de la primera vértebra sacra sobre la horizontal. Su valor medio es de 30°;
- el **ángulo lumbosacro b**, formado entre el eje de la quinta vértebra lumbar y el eje del sacro, tiene un valor medio de 140°;
- el **ángulo de inclinación de la pelvis i** constituido por la inclinación sobre la horizontal de la línea que se extiende entre el promontorio y el borde superior de la sínfisis púbica, tiene un valor medio de 60°;
- la **flecha de lordosis lumbar f** puede trazarse a partir de la cuerda de la lordosis lumbar que une el borde posterosuperior de la primera vértebra lumbar **L1** al borde posteroinferior de la quinta vértebra lumbar **L5**. Esta línea representa la cuerda de la lordosis lumbar **c**. Generalmente la flecha de la curva es máxima a la altura de la tercera vértebra lumbar **L3**. Es tanto más pronunciada cuanto más acentuada sea la lordosis; puede ser nula cuando el raquis lumbar es rectilíneo; incluso puede invertirse en ciertos casos, aunque no es frecuente;
- la **reversión posterior r** representa la distancia entre el borde posteroinferior de la quinta vértebra lumbar y la vertical que desciende del borde posterosuperior de la primera vértebra lumbar. Esta distancia puede ser:
  - **nula** si la vertical se confunde con la cuerda de la lordosis lumbar;
  - **positiva** si el raquis lumbar se desplaza hacia atrás;
  - **negativa** si el raquis lumbar se desplaza hacia delante.

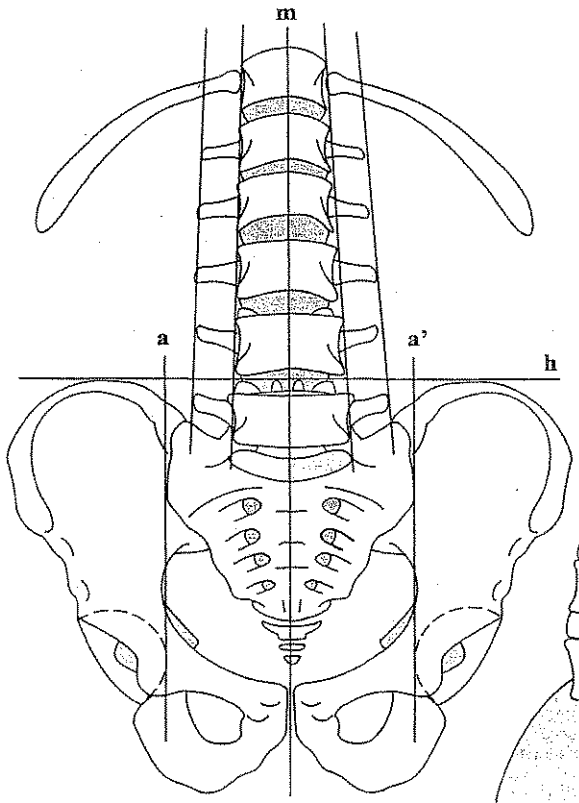


Fig. 1

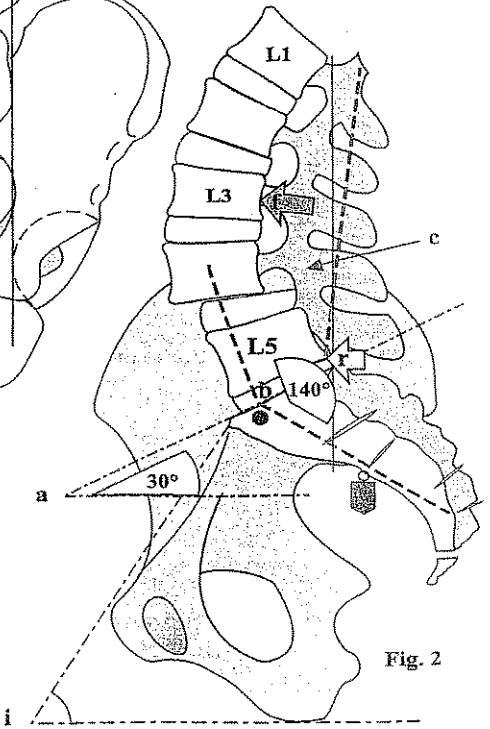


Fig. 2

Constitución de las vértebras lumbares

Los **elementos constitutivos de una vértebra lumbar** son fácilmente apreciables en una **visión "desarmada"** (**Fig. 3**):

- el **cuerpo vertebral 1**, reniforme, es más extenso en anchura que en sentido anteroposterior; también es más ancho que alto y su contorno, profundamente excavado, tiene la forma de un diabolo, excepto por detrás, donde es casi plano;
- las **dos láminas 2** son muy altas y se dirigen hacia atrás y hacia adentro, pero su plano es oblicuo hacia abajo y hacia afuera;
- se unen por detrás para constituir la **apófisis espinosa 3** muy gruesa, rectangular, que se dirige directamente hacia atrás y se engrosa en su extremo posterior;
- las **apófisis costales 4** incorrectamente denominadas apófisis transversas, ya que en realidad se trata de restos de costillas, se implantan a la altura de las articulaciones y se dirigen oblicuamente hacia atrás y hacia fuera. En la cara posterior de la base de implantación de las apófisis costales, se localiza el tubérculo accesorio, que según determinados autores sería el homólogo de la apófisis transversa de las vértebras torácicas;
- el **pedículo 5**, porción ósea corta que une el arco posterior al cuerpo vertebral, se implanta en la cara posterior del cuerpo vertebral en su ángulo superoexterno. Forma el límite superior y el límite inferior de los agujeros de conjunción; por detrás constituye la inserción del **macizo de las articulares**;
- la **apófisis articular superior 6** se origina en el borde superior de la lámina en su unión con el pedículo; su plano es oblicuo hacia atrás y hacia fuera y presenta una **carilla articular** recubierta de cartílago orientada hacia atrás y hacia adentro. la **apófisis articular inferior 7** se desprende del borde inferior del arco posterior, próximo a la unión de la lámina con la espinosa. Se dirige hacia abajo y hacia fuera y posee una **carilla articular** recubierta de cartílago que mira hacia fuera y hacia delante;
- entre la cara posterior del cuerpo vertebral y el arco posterior está delimitado el **agujero vertebral**, que forma un triángulo casi equilátero.

La vértebra lumbar tipo "rearmada" está representada en la **figura 4**.

Algunas vértebras lumbares presentan ciertas especificidades: la apófisis costiforme de la primera vértebra lumbar está menos desarrollada que la de las otras lumbares.

La quinta vértebra lumbar posee un cuerpo vertebral más alto por delante que por detrás, de tal modo que, visto de perfil es **cuneiforme** o, mejor, forma un trapecio de base mayor anterior. En cuanto a las apófisis articulares inferiores de la quinta vértebra lumbar, están más separadas entre sí que las de las restantes lumbares.

Cuando se separan verticalmente dos vértebras lumbares entre sí (**Fig. 5**), se puede entender cómo las apófisis articulares inferiores de la vértebra superior se **encajan** por dentro y por detrás de las apófisis articulares superiores de la vértebra inferior (**Fig. 6**). Cada vértebra lumbar estabiliza pues lateralmente la vértebra contigua superior, **merced a los topes que representan las apófisis articulares**.

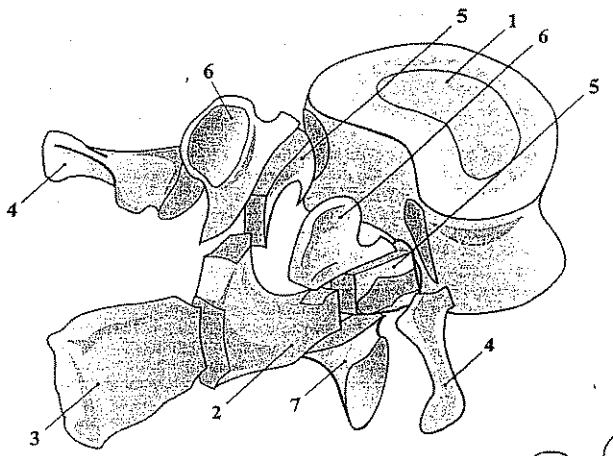


Fig. 3

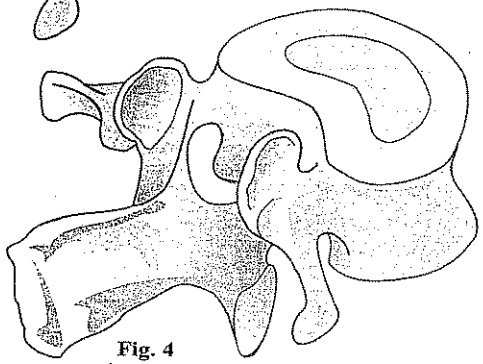


Fig. 4

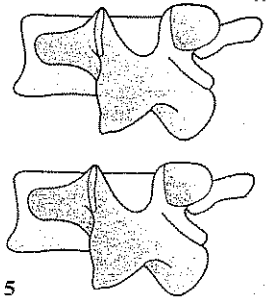


Fig. 5

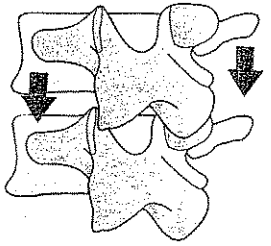


Fig. 6

El sistema ligamentoso en el raquis lumbar

El sistema de unión ligamentosa se puede analizar correctamente mediante un **corte sagital (Fig. 7**, en este caso, las láminas del lado izquierdo se han seccionado; bien mediante un **corte frontal (Fig. 8**, a la altura de los pedículos, con la mitad anterior incluyendo la cara posterior de los cuerpos vertebrales).
En cuanto a la **mitad posterior del corte (Fig. 8)**, tras haberle hecho realizar una rotación de 180°, incluye la cara anterior de los arcos posteriores de las vértebras lumbares. Se ha separado una vértebra hacia arriba. Obsérvese que en ambos lados (**Figs. 8 y 9**) se pueden ver los cortes correspondientes a los pedículos.

En el **corte sagital (Fig. 7)** se pueden distinguir claramente dos sistemas ligamentosos:

- por un lado, a lo largo de todo el raquis, **los ligamentos longitudinales anterior 1 y posterior 5**;
- y por otro, un sistema de **ligamentos segmentarios entre los arcos posteriores**.

El **ligamento longitudinal anterior 1**, es una larga cinta espesa de color nacarado que se extiende desde la apófisis basilar del occipital al sacro, sobre la cara anterior del raquis. Está constituido por largas fibras que van de un extremo a otro del ligamento y de fibras cortas arciformes que van de una vértebra a otra. De hecho, se inserta en la **cara anterior del disco intervertebral 3**. A la altura de los bordes anterosuperior y anteroinferior de cada cuerpo vertebral, existe un **espacio despegable 4** en el que se forman osteofitos cuando se instaura la artrosis vertebral.
El **ligamento longitudinal posterior 5** constituye una cinta que se extiende de la apófisis basilar hasta el canal sacro. Sus dos bordes están festoneados, ya que a la altura de la cara posterior de cada disco intervertebral, las **fibras arciformes 6** se insertan muy lejos lateralmente. En cambio, el ligamento no tiene ninguna inserción en la cara posterior del cuerpo vertebral, del que permanece separado por un espacio **7** recorrido por los plexos venosos perirraquídeos. La parte cóncava de cada festón corresponde a los pedículos **10**.

Entre estos cuerpos vertebrales, el **corte sagital (Fig. 7)** muestra el disco intervertebral con el **anillo fibroso 8** y el **núcleo pulposo 9**.
En **el arco posterior** la unión está garantizada por los ligamentos segmentarios. Cada lámina está unida a la siguiente por un ligamento espeso, muy resistente, de coloración amarilla, se trata del **ligamento amarillo 11**, cuya sección **puede observarse en la figura 7**. Por abajo, se inserta en el borde superior de la lámina subyacente y por arriba en la cara interna de la lámina contigua superior. Su borde interno se une al de su homólogo contralateral en la línea media (**Fig. 9**) y cierra totalmente por detrás el **canal raquídeo 13**; por delante y por fuera, recubre la cápsula y el **ligamento anterointerno 14** de las articulaciones cigapofisarias. De este modo, el borde anteroexterno del ligamento amarillo roza el contorno posterior del agujero de conjunción.
Entre cada apófisis espinosa **12** se extiende el potente **ligamento interespinoso 15** que se prolonga hacia atrás mediante el **ligamento supraespinoso 16**, cordón fibroso que se inserta en el vértice de las apófisis espinosas; en la zona lumbar apenas se distingue del cruce de las fibras de inserción de los músculos toracolumbares.
Entre los tubérculos accesorios de las apófisis transversas se extiende a cada lado **un ligamento intertransverso 17**, bastante desarrollado en la porción lumbar.
En una **visión anterior del arco posterior (Fig. 9)**, se ha desprendido la vértebra superior gracias a la sección del ligamento amarillo **13**, por el contrario, entre la segunda y la tercera vértebras, se ha resecado el ligamento por completo, dejando aparecer la cápsula y el **ligamento anterointemo de la articulación cigapofisaria 14** y de la apófisis espinosa entre los dos arcos vertebrales.
El conjunto de estos dos sistemas ligamentosos constituye una **unión extremadamente sólida** no sólo entre dos cuerpos vertebrales, sino también para el conjunto del raquis. Para romperla es necesario un traumatismo considerable.

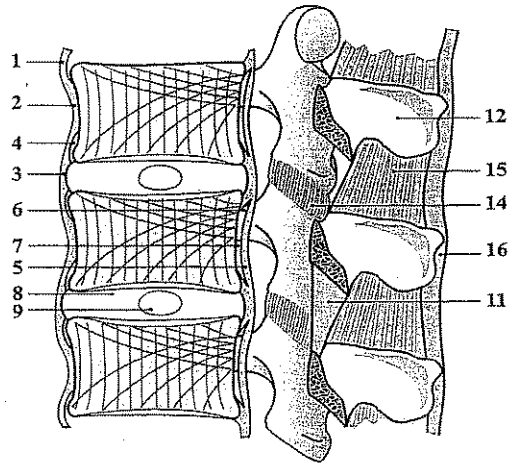


Fig. 7

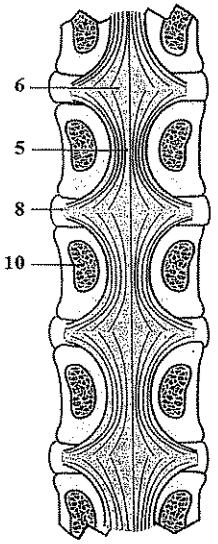


Fig. 8

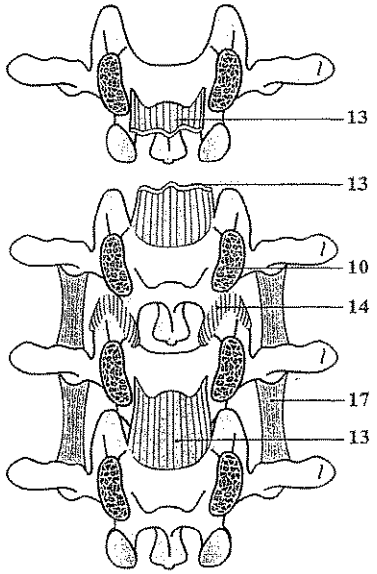


Fig. 9

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

Flexoextensión e inflexión del raquis lumbar

Durante el **movimiento de flexión (Fig. 10)** el cuerpo vertebral de la vértebra suprayacente se inclina y se desliza ligeramente hacia delante en el sentido de la flecha **F**, lo que disminuye el grosor del disco en su parte anterior y lo aumenta en su parte posterior. De este modo, el disco intervertebral toma forma de cuña de base posterior y el núcleo pulposo se ve desplazado hacia atrás. Así pues, su presión aumenta en las fibras posteriores del anillo fibroso; simultáneamente las apófisis articulares inferiores de la vértebra superior se deslizan hacia arriba y tienden a separarse de las apófisis articulares superiores de la vértebra inferior (**flecha negra**); la cápsula y los ligamentos de esta articulación cigapofisaria están pues tensos al máximo, al igual que todos los ligamentos del arco posterior: el ligamento amarillo, el ligamento interespinoso **2**, el ligamento supraespinoso y el ligamento longitudinal posterior. Esta puesta en tensión limita, en definitiva, el movimiento de flexión.

Durante el **movimiento de extensión (Fig. 11)**, el cuerpo vertebral de la vértebra suprayacente se inclina hacia atrás y retrocede en el sentido de la flecha **E**. Al mismo tiempo, el disco intervertebral se hace más delgado en su parte posterior y se ensancha en su parte anterior, tornándose cuneiforme de base anterior. El núcleo pulposo se ve desplazado hacia delante, lo que tensa las fibras anteriores del anillo fibroso. A la par, el ligamento longitudinal anterior se tensa **4**. En cambio, el ligamento longitudinal posterior se distiende, constatándose simultáneamente que las apófisis articulares inferiores de la vértebra superior se encajan con más profundidad entre las apófisis articulares superiores de la vértebra inferior 3 mientras que las apófisis espinosas contactan entre sí. De esta forma, el movimiento de extensión queda limitado por los topes óseos del arco posterior y por la puesta en tensión del ligamento longitudinal anterior.

Durante el **movimiento de inflexión lateral (Fig. 12)**, el cuerpo de la vértebra suprayacente se inclina hacia el lado de la concavidad (**flecha 1**) de la inflexión y el disco se torna cuneiforme, más grueso en el lado de la convexidad. El núcleo pulposo se desplaza ligeramente hacia el lado de la convexidad. El ligamento intertransverso del lado de la convexidad **6** también se tensa y se distiende del lado de la concavidad **7**.

Una **visión posterior (Fig. 13)** muestra un deslizamiento desigual de las apófisis articulares: del lado de la convexidad, la articular de la vértebra superior se eleva **8**, mientras que del lado de la concavidad desciende **9**. Existe pues, simultáneamente, una distensión de los ligamentos amarillos y de la cápsula articular cigapofisaria del lado de la concavidad y, por el contrario, una tensión de estos mismos elementos en el lado de la convexidad.

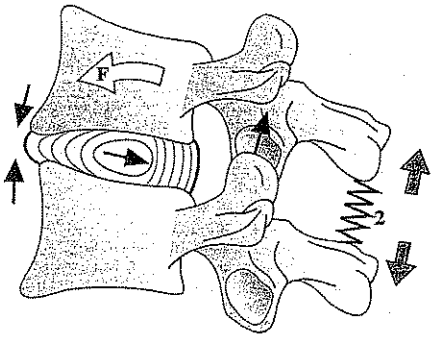


Fig. 10

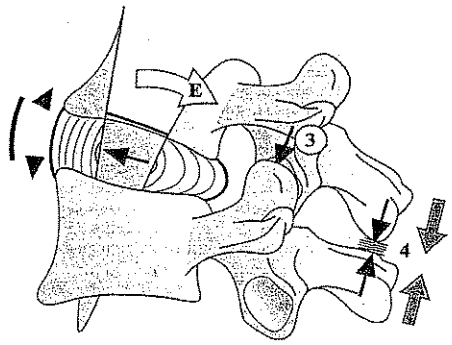


Fig. 11

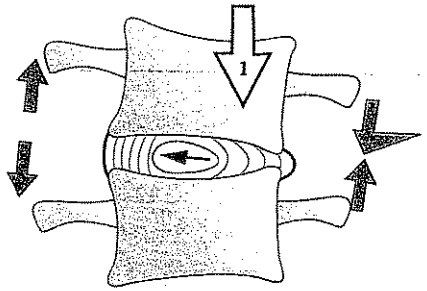


Fig. 12

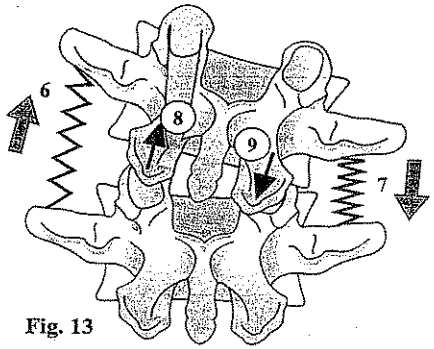


Fig. 13

Rotación en el raquis lumbar

En **una visión superior** (**Figs. 14 y 15**), las carillas articulares superiores de las vértebras lumbares miran **hacia atrás y hacia dentro**; no son planas sino cóncavas transversalmente y rectilíneas verticalmente. Geométricamente, están talladas sobre la superficie de un mismo cilindro cuyo centro **O** se sitúa por detrás de las carillas articulares, aproximadamente en la base de la **apófisis espinosa** (**Fig. 16**).

En las **vértebras lumbares superiores** (**Fig. 14**), el centro de este cilindro se localiza casi inmediatamente por detrás de la línea que une el borde posterior de las apófisis articulares, mientras que en las **vértebras lumbares inferiores** (**Fig. 15**), el cilindro tiene un diámetro mucho mayor, lo que retrocede en la misma medida su centro en relación al cuerpo vertebral.

Es importante el hecho de que el centro de este cilindro no se confunde con el centro de las mesetas vertebrales, aunque cuando la vértebra superior gira sobre la vértebra inferior (**Figs. 18 y 19**), este movimiento de rotación se efectúa en torno a este centro y debe acompañarse obligatoriamente de un **deslizamiento del cuerpo vertebral de la vértebra superior en relación al de la vértebra subyacente** (**Fig. 16**). El disco intervertebral **D** no está, por tanto, solicitado en torsión axial (**Fig. 17**), lo que le daría una amplitud de movimiento relativamente grande, sino en cizallamiento (**Fig. 16**); esto explica que la rotación axial en el raquis lumbar sea limitada, tanto en cada nivel como en su conjunto.

Según los trabajos de Grégersen y Lucas, la rotación total derecha-izquierda del raquis lumbar entre L1 y S1 sería de 10°, lo que, suponiendo que la rotación segmentaria estuviera equitativamente repartida, equivaldría a 2° por tramo, es decir, 1° a cada lado en cada nivel. Se puede, por tanto, subrayar que **el raquis lumbar no está conformado para realizar la rotación axial**, limitada por la orientación de las carillas articulares.

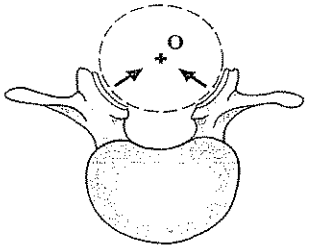


Fig. 14

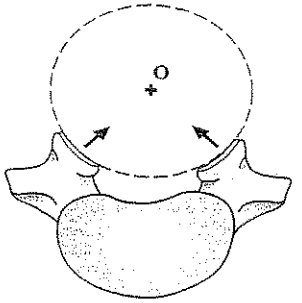


Fig. 15

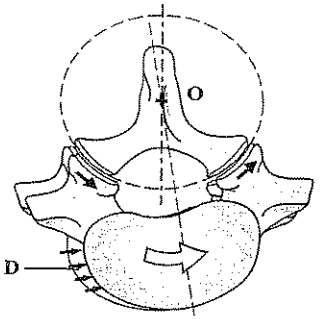


Fig. 16

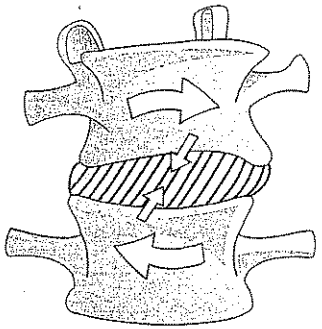


Fig. 17

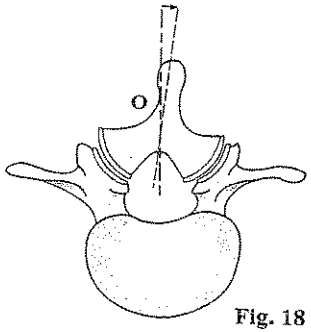


Fig. 18

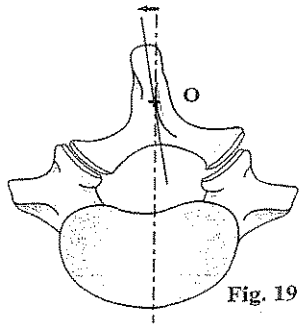


Fig. 19

La charnela lumbosacra y la espondilolistesis

La charnela lumbosacra constituye un punto débil del edificio raquídeo.

De hecho, en una **visión lateral (Fig. 20)**, en razón de la inclinación de la meseta superior de la primera sacra S1, puede constatarse que el cuerpo de la quinta lumbar L5 tiende a deslizarse hacia abajo y hacia delante. El peso **P** puede descomponerse en dos fuerzas elementales:

- una fuerza **N** perpendicular a la meseta superior del sacro;
- y una fuerza **G** paralela a la meseta superior del sacro que desplaza el cuerpo vertebral de **L5** hacia delante.

La sólida unión del arco posterior de **L5** impide este deslizamiento.

En una **visión superior (Fig. 22)** las apófisis articulares inferiores de **L5** se encastran entre las apófisis articulares superiores de la primera sacra, la fuerza **G'** de deslizamiento encaja fuertemente las apófisis articulares de **L5** sobre las apófisis superiores del sacro que resisten a ambos lados de acuerdo a una fuerza **R**.

La transmisión de estas fuerzas se lleva a cabo a través de **un punto de paso obligado localizado** en el **istmo vertebral (Fig. 21)**: se denomina así la porción del arco posterior comprendida entre las apófisis articulares superiores y las inferiores. Cuando este istmo se rompe o se destruye, tal como se ha representado aquí, se dice que existe una **espondilolisis**. Como el arco posterior ya no queda retenido por detrás en las apófisis articulares superiores del sacro, el cuerpo vertebral de **L5** se desliza hacia abajo y hacia delante provocando una **espondilolistesis**. Los únicos elementos que retienen entonces la quinta lumbar sobre el sacro e impiden que esta se deslice todavía más son:

- por una parte, el **disco lumbosacro** cuyas fibras oblicuas están tensas y;
- por otra parte, los **músculos de las correderas vertebrales**, en cuya contractura permanente está el origen de los dolores de la espondilolistesis.

Se puede medir la magnitud del deslizamiento hacia delante por el desborde de la cara inferior de **L5** en relación al borde anterior de la meseta superior de **S1**.

En las **radiografías de proyección oblicua (3/4) (Fig. 23)** se distingue con claridad el clásico "perrillo":

- cuyo hocico lo constituye la apófisis transversa;
- el ojo, el pedículo visto oblicuamente;
- la oreja, la apófisis articular superior;
- la pata delantera, la apófisis articular inferior;
- el rabo, la lámina y la apófisis articular superior del lado opuesto;
- la pata trasera, la apófisis articular inferior del lado opuesto;
- y el cuerpo, la lámina del lado de los 3/4.

Un punto importante a considerar es que el cuello representa de manera exacta el istmo vertebral: **cuando el istmo se rompe el cuello del perrillo está seccionado**. Esto permite **diagnosticar la espondilolisis** y buscar el deslizamiento de **L5** apreciable en una placa lateral.

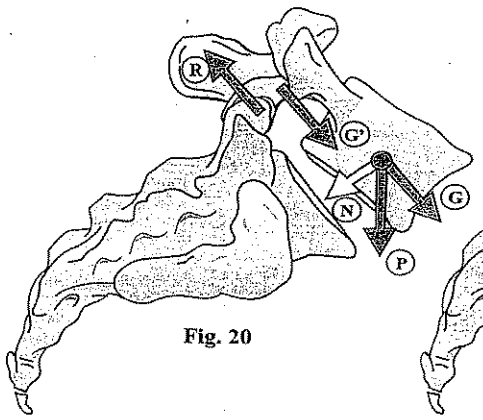


Fig. 20

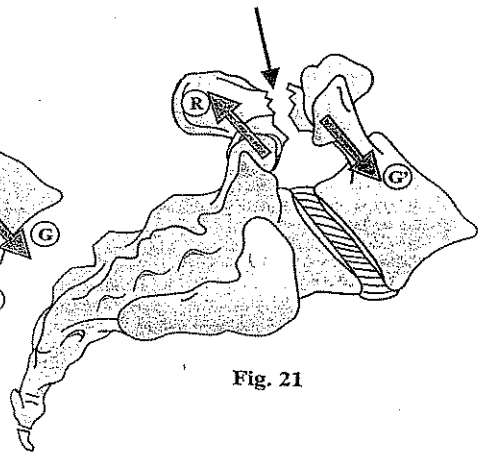


Fig. 21

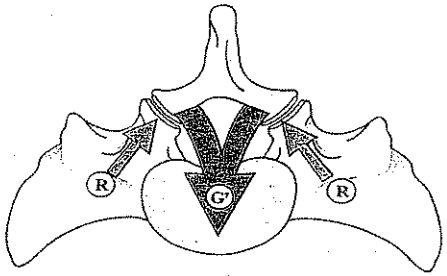


Fig. 22

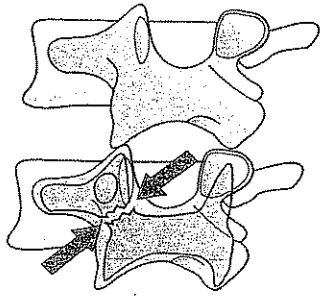


Fig. 23

Los ligamentos iliolumbares y los movimientos en la charnela lumbosacra

En una **visión anterior de la charnela lumbosacra** (**Fig. 24**) las dos últimas vértebras lumbares están unidas directamente al hueso ilíaco por los ligamentos iliolumbares. Pueden distinguirse dos haces:

- el **haz superior 1**, también denominado haz iliotransverso lumbar superior: se origina en el vértice de la apófisis transversa de la cuarta vértebra lumbar, se dirige hacia abajo, hacia fuera y hacia atrás para insertarse en la cresta ilíaca;
- el **haz inferior 2**, también denominado haz iliotransverso lumbar inferior, se origina en el vértice y borde inferior de la apófisis transversa de la quinta lumbar, se dirige hacia abajo y hacia fuera para insertarse en la cresta ilíaca por delante y por dentro del haz precedente.

A veces, se distinguen dos pequeños haces fibrosos más o menos individualizados:

- un haz estrictamente **ilíaco 2**;
- un haz **sacro 3**, claramente vertical, que se dirige ligeramente hacia delante y finaliza en la parte anterior de la articulación sacroilíaca y en la parte más lateral del ala sacra.

Estos ligamentos iliolumbares se tensan o se distienden según los movimientos de la charnela lumbosacra; de modo que intervienen para limitarlos:

- durante la **inclinación lateral** (**Fig. 25**) los ligamentos iliolumbares se tensan del lado de la convexidad y limitan a 8° la inclinación de la cuarta lumbar sobre el sacro. Por supuesto, en el lado de la concavidad estos ligamentos se distienden.
- durante la **flexoextensión** (**Fig. 26**), en una visión lateral (cresta ilíaca supuestamente transparente), se distingue:
  - a partir de la posición neutra **N**, la orientación de los ligamentos permite entender que en el transcurso de la **flexión F** se tensa el haz superior del ligamento iliolumbar (**en rojo**), ya que se dirige oblicuamente hacia abajo, hacia fuera y hacia atrás. En cambio, en el transcurso de la **extensión E** se distiende.
  - por el contrario, durante la **flexión F** el haz inferior del ligamento iliolumbar (**en azul**) se distiende puesto que se dirige ligeramente hacia delante, sin embargo, se tensa durante la **extensión E**.

Resumiendo, la movilidad en la charnela lumbosacra está muy limitada debido a la potencia de los citados ligamentos iliolumbares. En conjunto, **limitan más la inclinación lateral que la flexoextensión.**

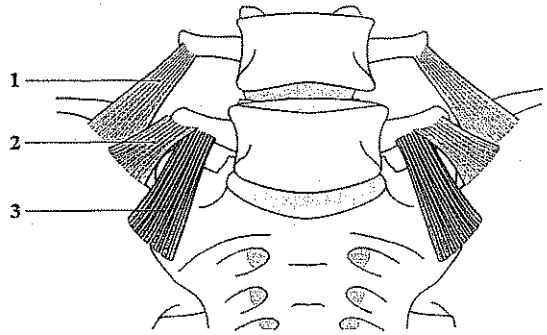


Fig. 24

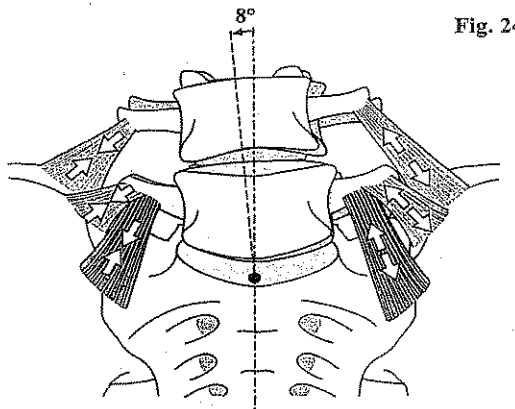
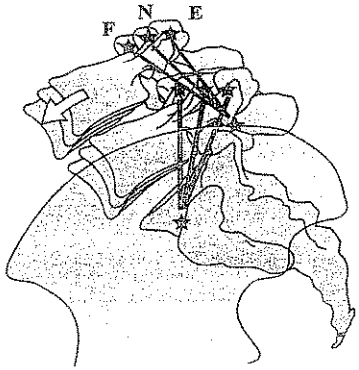


Fig. 25



Los músculos del tronco en un corte horizontal

Un corte horizontal que pase por la tercera vértebra lumbar (Fig. 27) y que muestre la parte inferior del corte, permite clasificar los músculos del tronco en tres grupos.

Los músculos del grupo posterior

Se distribuyen en tres planos.

El **plano profundo** que contiene:

- los músculos **transversoespinosos 1**, que ocupan el ángulo diedro formado entre el plano sagital de las apófisis espinosas y el plano frontal de las apófisis transversas, y que se ajustan estrechamente a las láminas vertebrales;
- el músculo *longísimo* **2**, que recubre al precedente y lo sobrepasa por fuera;
- el músculo **iliocostal lumbar 3**, masa carnosa voluminosa localizada por fuera del precedente;
- y por último, el músculo **espinoso 4**, que se inserta en las apófisis espinosas y se sitúa por detrás del músculo transversoespinoso y músculo longísimo.

Estos músculos constituyen una masa voluminosa que ocupa, a ambos lados de las espinosas, las correderas vertebrales; por este motivo se les denomina músculos paravertebrales o músculos de las correderas. Están separados, exteriormente, **por el sillón lumbar** que se corresponde con la **línea de las apófisis espinosas**.

El **plano medio** conformado por el **músculo serrato posteroinferior 5**.

El **plano superficial** representado en la región lumbar por un solo músculo, el músculo **dorsal ancho 6**; que se inserta en la gruesa aponeurosis lumbar 7 que se fija, entre otras, en la línea de las apófisis espinosas; el **cuerpo muscular 6** forma una capa carnosa que recubre toda la parte posterolateral de la región lumbar.

Los músculos laterovertebrales

Son dos:

El músculo **cuadrado lumbar 8**, capa muscular que se extiende entre la última costilla, la cresta ilíaca y el vértice de las apófisis transversas;

El músculo **psoas mayor 9**, que ocupa el ángulo diedro formado por las caras laterales de los cuerpos vertebrales y las apófisis transversas.

Los músculos de la pared del abdomen

Se distribuyen en dos grupos:

- los músculos **rectos del abdomen 13**, localizados por delante, a ambos lados de la línea media;
- los músculos anchos del abdomen que son tres y constituyen la pared anterolateral del abdomen, de la profundidad a la superficie se encuentran el músculo **transverso del abdomen 10**, el músculo **oblicuo interno del abdomen 11**, y el músculo **oblicuo externo del abdomen 12**.

Hacia delante estos tres músculos conforman unas aponeurosis que constituyen la **vaina de los rectos** y **la línea alba** de la siguiente manera: la aponeurosis del músculo oblicuo interno del abdomen se divide en el borde lateral del músculo recto mayor en dos láminas, una **superficial 14** y otra **profunda 15** que envuelven el músculo recto del abdomen. En la línea media se cruzan formando un rafe muy sólido: la **línea alba abdominal 16**. Las láminas anterior y posterior de la vaina de los músculos rectos del abdomen están reforzadas por detrás por la aponeurosis del músculo transverso del abdomen y por delante por la aponeurosis del músculo oblicuo externo. Esto no es válido más que en el caso de la parte superior, más adelante podrá verse la disposición exacta en la parte inferior. Los músculos laterovertebrales y los músculos anchos del abdomen delimitan la **cavidad abdominal**, en cuyo interior sobresalen el **raquis lumbar 20** y **los gruesos vasos prevertebrales** (aorta y vena cava inferior, sin representar en la figura).

La **cavidad abdominal propiamente dicha 18** está tapizada por el **peritoneo 21 (en rojo)** que recubre la cara posterior de los músculos rectos del abdomen, la cara profunda de los músculos anchos y la pared posterior a la que se adosan los órganos retroperitoneales, los riñones, cubiertos por **una capa grasa retroperitoneal 19**. Entre el peritoneo parietal y la pared del abdomen se intercala una delgada capa de tejido fibroso: la **fascia transversal 17**.

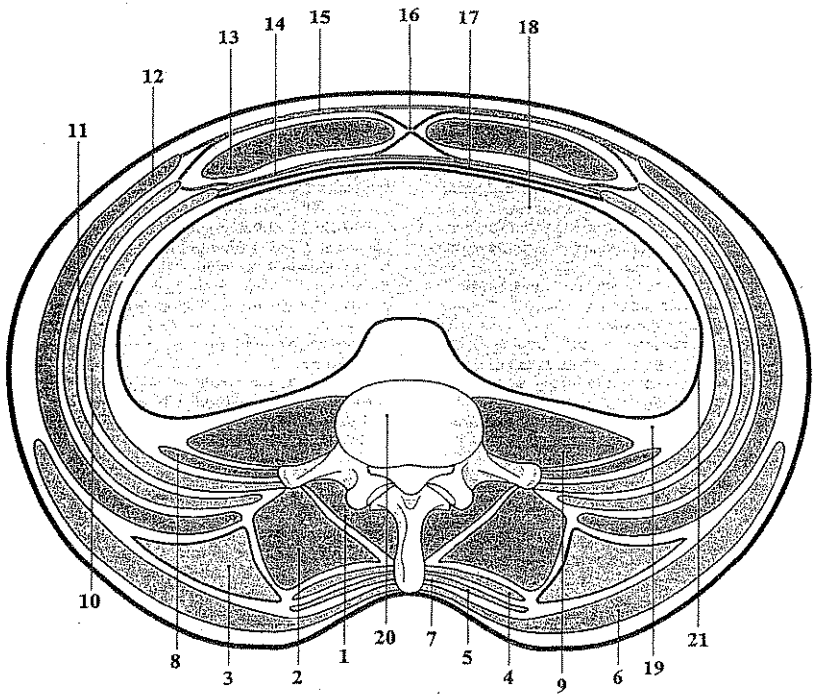


Fig. 27

Los músculos posteriores del tronco

Los músculos posteriores del tronco están distribuidos en tres planos, de la profundidad a la superficie.

El plano profundo

Está constituido por músculos espinales, que se aplican directamente contra el raquis (**Figs. 28 y 29**), de ahí su denominación de músculos de las correderas vertebrales, y sus haces son tanto más cortos cuanto más profunda es su localización. Éstos son:

- los músculos **transversoespinosos 1**, constituidos por láminas dispuestas como las tejas de un tejado, en la figura sólo se ha dibujado una de estas láminas según el concepto de Winckler: las fibras se originan en la lámina de una vértebra, y de forma oblicua, hacia abajo y hacia fuera, se insertan en las apófisis transversas de las cuatro vértebras subyacentes. Según el concepto de Trolard las fibras se originan en las láminas y en las apófisis espinosas de las cuatro vértebras suprayacentes para insertarse en la apófisis transversa de la vértebra subyacente (*véase* Fig. 85, pág. 133);
- los músculos **interespinosos 2**, situados a ambos lados de la línea media unen los bordes de dos apófisis espinosas contiguas. En la figura no se ha representado más que un solo par de los mismos;

el músculo **espinoso 3**, fusiforme, localizado a cada lado de los músculos interespinosos y por detrás de los músculos transversoespinosos, se inserta por abajo en las apófisis espinosas de las dos primeras lumbares y de las dos últimas torácicas para terminar en las apófisis espinosas de las diez primeras vértebras torácicas. Los haces más cortos son los más mediales;

- el músculo **longísimo 5**, larga banda muscular localizada inmediatamente por fuera del músculo espinoso, asciende por la cara posterior del tórax para fijarse en las costillas hasta la segunda costilla (haces laterales o costales) y en las apófisis transversas de las vértebras lumbares y torácicas (haces mediales o transversos);
- el músculo **iliocostal torácico 6**, gruesa masa muscular prismática situada por detrás y por fuera de los músculos precedentes, asciende por la cara posterior del tórax, expandiendo haces terminales en la cara posterior de las diez últimas costillas, próximos a su ángulo posterior. A continuación, estas fibras quedan relevadas por las que ascienden hasta las apófisis transversas de las cinco últimas vértebras cervicales (*véase* Fig. 89, pág. 135).

Todos estos músculos se unen en su parte inferior constituyendo la **masa común de los músculos lumbares 6**, visible en el lado derecho de la figura 29; sus inserciones se localizan en la cara profunda de una gruesa lámina tendinosa que se confunde en la superficie con la **aponeurosis del músculo dorsal ancho 7**.

El plano medio

Está constituido **(Fig. 29)** por un solo músculo: el músculo **serrato posteroinferior 4**, situado inmediatamente por detrás de los músculos de las correderas y recubierto por el plano del músculo dorsal ancho. Se inserta en las apófisis espinosas de las tres primeras vértebras lumbares y de las dos últimas vértebras torácicas y forma haces oblicuos hacia arriba y hacia fuera que finalizan en el borde inferior y en la cara externa de las tres o cuatro últimas costillas.

El plano superficial

Está constituido por el músculo **dorsal ancho 7** que se origina en la espesísima aponeurosis lumbar, sus fibras oblicuas dirigidas hacia arriba y hacia fuera, recubren todos los músculos de las correderas y dan origen a fibras musculares siguiendo una línea de transición oblicua hacia abajo y hacia fuera.

El conjunto de la **aponeurosis lumbar** forma un rombo de eje mayor vertical. Las fibras musculares conforman una capa muy extensa que envuelve la parte posteroexterna de la base torácica y finaliza en el húmero (*véase* el Tomo 1 pág. 73, Fig. 115).

La acción de los músculos posteriores es esencialmente la **extensión del raquis lumbar (Fig. 30)**. Tomando el sacro como punto fijo, traccionan con fuerza hacia atrás el raquis lumbar y torácico; por una parte, en torno a la charnela lumbosacra, y por otra, en torno a la charnela toracolumbar.

Además, **acentúan la lordosis lumbar (Fig. 31)** ya que constituyen las cuerdas parciales o totales del arco formado por el raquis lumbar. Por lo tanto, no se puede afirmar que enderecen el raquis lumbar puesto que tiran de él hacia atrás y lo incurvan.

Además, se podrá analizar más adelante el papel que desempeñan estos músculos posteriores en la espiración.

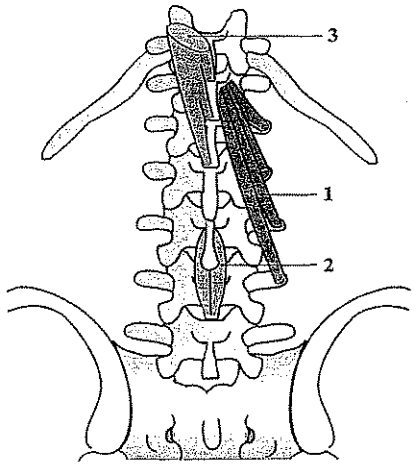


Fig. 28

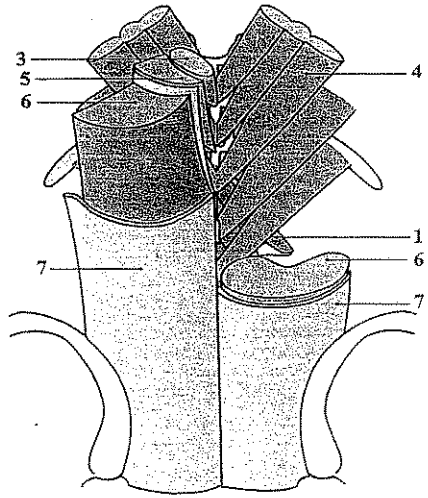


Fig. 29

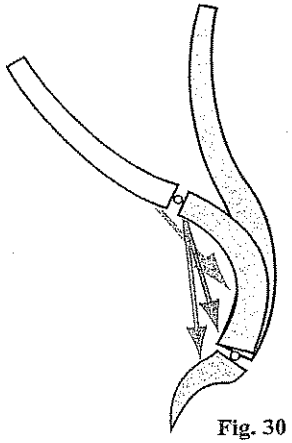


Fig. 30

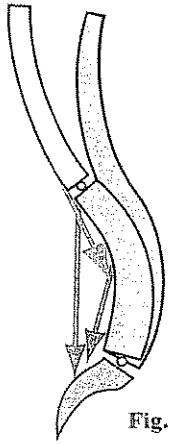


Fig. 31

Papel de la tercera vértebra lumbar y de la duodécima vértebra torácica

Los trabajos de A. Delmas han puesto de manifiesto el valor funcional de determinadas vértebras (**Figs. 32 y 33 según Delmas**), en bipedestación. El carácter cuneiforme de la quinta vértebra lumbar que debe realizar la transición entre el sacro más o menos horizontal y un raquis vertical se conoce desde hace tiempo. Sin embargo, el papel de la tercera vértebra lumbar L3 apenas se comienza a entender **(Fig. 32)**. De hecho, esta vértebra posee un arco posterior más desarrollado, ya que sirve de relevo muscular entre: por una parte los **haces lumbares del músculo longísimo** procedentes del hueso ilíaco que se inserta en las apófisis transversas de L3;
y por otra, ascendiendo hacia el raquis torácico, los **haces del músculo espinoso** cuya inserción más baja se localiza exactamente en la apófisis espinosa de L3. Así (**Fig. 33**), los músculos con inserción sacra e ilíaca desplazan la tercera lumbar hacia atrás de modo que representa un punto fijo para la acción de los músculos torácicos.

Por lo tanto, desempeña un papel primordial de **vértebra pivote, de relevo** en la estática vertebral debido a su situación en el vértice de la lordosis lumbar y a que sus mesetas son paralelas y horizontales entre sí. Se trata de la primera vértebra del raquis lumbar verdaderamente móvil ya que se puede considerar que la cuarta y quinta vértebras, muy ligadas al hueso ilíaco y al sacro constituyen una transición más estática que dinámica entre el raquis y la pelvis.
En cambio, la **duodécima vértebra torácica** (T12) constituye el punto de inflexión entre la cifosis torácica y la lordosis lumbar. Se trata de una **vértebra charnela** cuyo cuerpo vertebral es relativamente importante en relación al arco posterior, por detrás del cual los músculos de las correderas pasan formando un puente, sin tomar inserciones notables. A. Delmas la compara a "una verdadera rótula del eje vertebral".

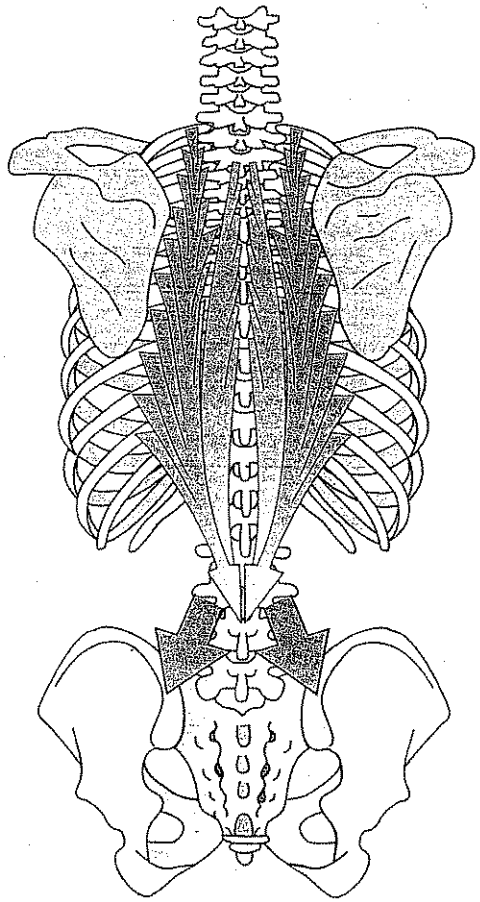


Fig. 32

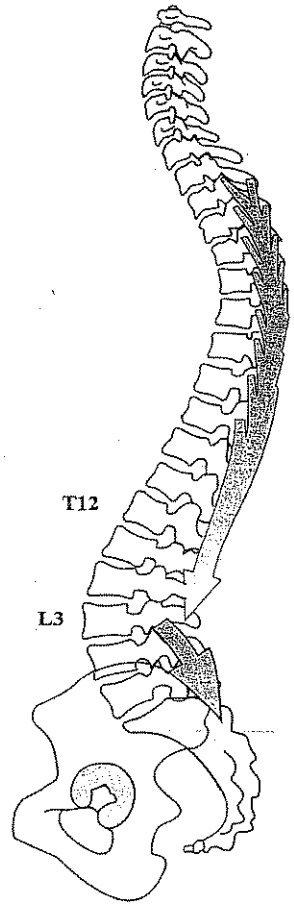


Fig. 33

Los músculos laterales del tronco

El grupo de músculos laterales del tronco comprende **dos músculos**: el músculo cuadrado lumbar y el músculo psoas mayor.

El músculo **cuadrado lumbar (Fig. 34, visión anterior)** forma, como su nombre indica, una capa muscular cuadrilátera que se expande entre la última costilla, la cresta ilíaca y el raquis, y presenta por fuera un borde libre. Está constituido por tres tipos de fibras **(lado derecho de la figura)**:

- fibras que unen directamente la última costilla a la cresta ilíaca **(flechas anaranjadas)**;
- fibras que unen la última costilla a las apófisis transversas de las cinco vértebras lumbares **(flechas rojas)**;
- fibras que unen las apófisis transversas de las cuatro primeras vértebras lumbares a la cresta ilíaca **(flechas verdes)**, y que están a continuación de las que provienen de los músculos transversoespinosos **(flechas violetas)** que aparecen en el espacio entre las apófisis transversas.

Los tres tipos de fibras del músculo cuadrado lumbar están dispuestas según tres planos; el plano más posterior está formado por las fibras directas costoilíacas, recubiertas por las fibras transversoilíacas y a continuación por las **fibras costotransversas 1**.

Cuando el músculo cuadrado lumbar se **contrae unilateralmente** produce una inflexión del tronco del lado de su contracción **(Fig. 35)**, esta acción se ve fuertemente reforzada por la contracción de los músculos oblicuo interno y oblicuo externo del abdomen.

El **músculo psoas mayor (Fig. 36)** se localiza por delante del músculo cuadrado lumbar. Su cuerpo carnoso se inserta en dos capas musculares:

- por una parte, una **capa posterior** que se fija en las apófisis transversas de las vértebras lumbares;
- y por otra una **capa anterior** que se inserta en los cuerpos vertebrales de la duodécima vértebra torácica y las cinco vértebras lumbares.

Estas inserciones se llevan a cabo en los bordes inferiores y superiores de las dos vértebras adyacentes, así como en el borde lateral del disco comprendido entre estas dos vértebras. Existen arcos tendinosos que unen entre sí las áreas de inserción musculares. El cuerpo muscular fusiforme, aplanado de delante atrás, desciende oblicuamente hacia abajo y hacia fuera, sigue por la abertura superior de la pelvis, se refleja sobre el borde anterior del hueso coxal, a la altura de la eminencia iliopectínea y, junto con el músculo ilíaco, termina en el **vértice del trocánter menor**.

Cuando el músculo psoas mayor toma como punto fijo su inserción sobre el fémur y la articulación de la cadera está bloqueada por la contracción de los otros músculos periarticulares, ejerce **una potente acción sobre el raquis lumbar (Fig. 37)**, el cual realiza a la vez una inclinación hacia el lado de su contracción y una rotación hacia el lado opuesto de la contracción.

Además **(Fig. 38)**, como este músculo se inserta en el vértice de la lordosis lumbar, acarrea una **flexión del raquis lumbar** con respecto a la pelvis a la par que una **hiperlordosis lumbar** que aparece con claridad en el individuo en decúbito supino, con los miembros inferiores extendidos sobre el plano de apoyo.

Resumiendo, los dos músculos del grupo lateral inclinan el tronco hacia el lado de su contracción, pero mientras que el músculo cuadrado lumbar no ejerce acción alguna sobre la lordosis lumbar, el músculo psoas mayor determina una hiperlordosis al mismo tiempo que una rotación del tronco hacia el lado opuesto.

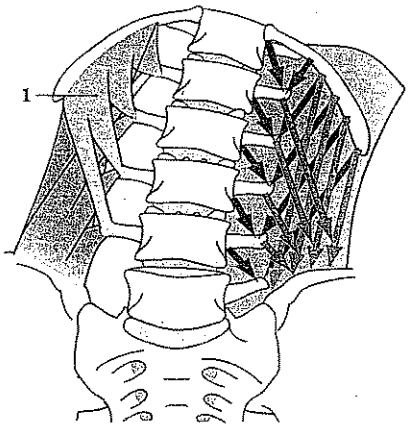


Fig. 34

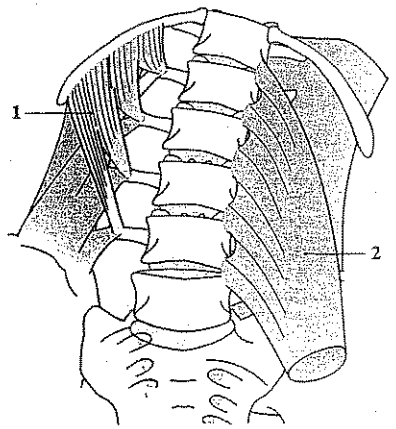


Fig. 36

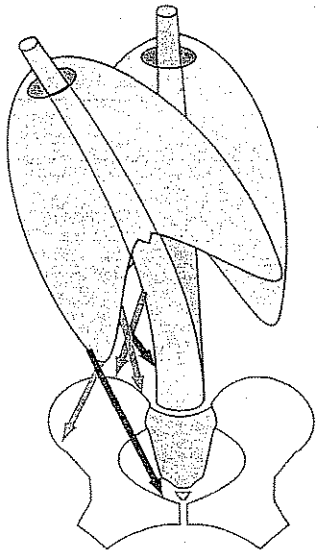


Fig. 35

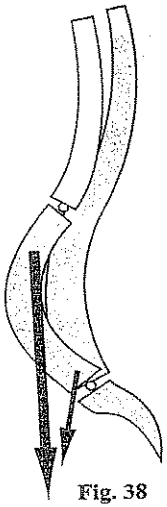


Fig. 38

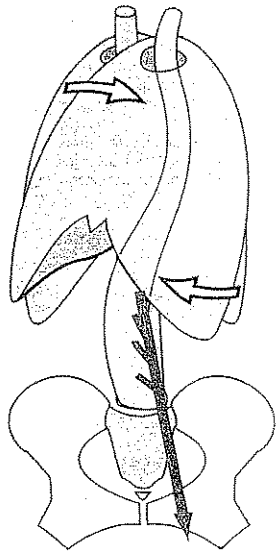


Fig. 37

Los músculos de la pared abdominal: los músculos recto del abdomen y transverso del abdomen

El músculo recto del abdomen

Los dos músculos rectos del abdomen **(Fig. 39, visión de frente, y Fig. 40, visión de perfil)** constituyen dos bandas musculares extendidas por la cara anterior del abdomen, a un lado y otro de la línea media. Sus inserciones superiores se llevan a cabo en los 5 °, 6 ° y 7 ° arcos anteriores y cartílagos costales al igual que en la apófisis xifoides. La espesa banda muscular que parte de estas inserciones se estrecha gradualmente, entrecortada por intersecciones aponeuróticas: dos intersecciones por encima del ombligo, una a la altura de éste y otra por debajo. El músculo recto del abdomen es pues un músculo poligástrico. La anchura del cuerpo muscular es netamente menor por debajo del ombligo para dar nacimiento a un potente tendón que se inserta en el borde superior del pubis, en la sínfisis púbica, con expansiones hacia el lado opuesto y hacia los músculos aductores.

Los dos músculos rectos del abdomen están separados en la línea media por un espacio más ancho por encima del ombligo que por debajo del mismo: la **línea alba**.

Están envueltos por una vaina aponeurótica, la **vaina de los rectos,** formada por las aponeurosis de terminación de los músculos anchos de la pared abdominal.

El músculo transverso del abdomen

Los músculos **transversos del abdomen (Fig. 41, visión de frente, el músculo transverso sólo se ha representado en la mitad izquierda, y Fig. 42, visión de perfil)** constituyen la capa más profunda de los músculos anchos de la pared abdominal. Por detrás, se insertan en el vértice de las apófisis transversas de las vértebras lumbares.

Las fibras musculares horizontales se dirigen hacia fuera y directamente hacia delante y rodean la masa visceral. Dan origen a fibras aponeuróticas siguiendo una línea paralela al borde lateral de los rectos del abdomen. Esta aponeurosis de terminación del músculo transverso del abdomen se une a la del lado opuesto en la línea media y, en su mayor parte, pasa por detrás del músculo recto abdominal, participando así en la constitución de la lámina posterior de la vaina de los rectos del abdomen. Sin embargo, debajo del ombligo, la aponeurosis del músculo transverso del abdomen pasa por delante del músculo recto del abdomen, el cual la perfora para pasar por detrás. A partir de este nivel, marcado en la cara posterior del músculo recto abdominal por la **línea arcada**, la aponeurosis del músculo transverso del abdomen toma parte en la constitución de la lámina anterior de la vaina de los rectos del abdomen.

En esta figura también puede constatarse que sólo las fibras de la parte media son horizontales; las fibras de la parte superior son oblicuas hacia arriba y hacia dentro, las fibras de la parte inferior son oblicuas hacia abajo y hacia dentro y las fibras más bajas terminan en el borde superior de la sínfisis púbica y del pubis participando, junto con las del músculo oblicuo interno, en la formación del **tendón conjunto**.

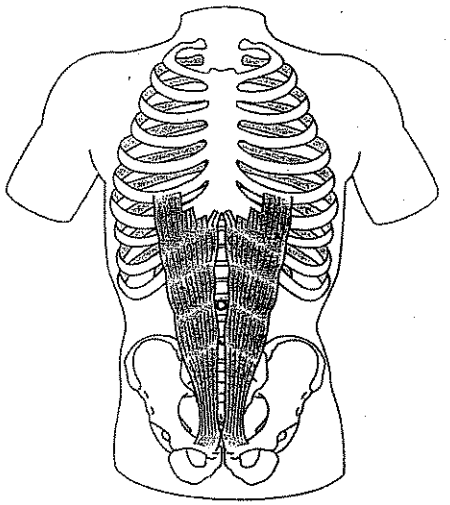


Fig. 39

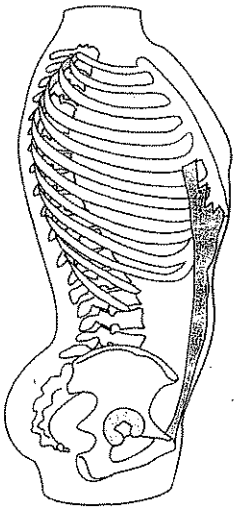


Fig. 40

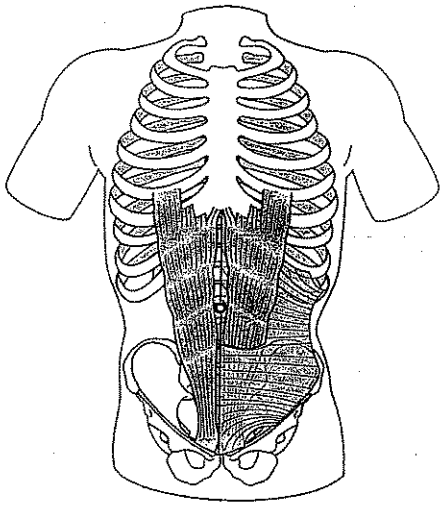


Fig. 41

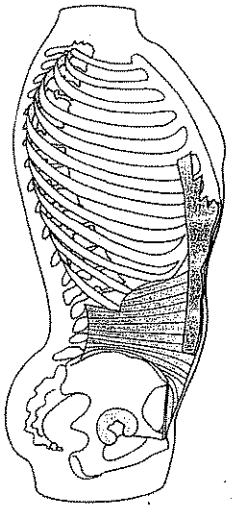


Fig. 42

Los músculos de la pared abdominal: el músculo oblicuo interno y el músculo oblicuo externo del abdomen

El músculo oblicuo interno del abdomen

El músculo **oblicuo interno del abdomen** (Figs. 43 y 44) constituye la capa intermedia de los músculos anchos de la pared abdominal.

La dirección general de sus fibras es oblicua de abajo arriba y de fuera adentro; se inserta en la cresta ilíaca; las fibras carnosas forman una lámina muscular localizada en la pared lateral del abdomen:

algunas finalizan directamente en la duodécima y undécima costillas; otras terminan mediante una aponeurosis contigua al cuerpo muscular siguiendo una línea inicialmente horizontal, que parte del vértice de la undécima costilla, que posteriormente se verticalizará a lo largo del borde lateral del músculo recto del abdomen.

Las fibras aponeuróticas finalizan en el décimo cartílago costal y en la apófisis xifoides, y contribuyen a la formación de la lámina anterior de la vaina de los músculos rectos del abdomen; de modo que se entrecruza en la línea media con su homólogo opuesto, constituyendo la línea alba abdominal.

La parte inferior del músculo oblicuo interno del abdomen se inserta directamente en la parte lateral del arco inguinal. Sus fibras son horizontales y, a continuación, oblicuas hacia abajo y hacia dentro; junto con las fibras del músculo transverso forman el **tendón conjunto**; finalizan en el **borde superior de la sínfisis púbica** y en la **espina del pubis**. De este modo, el tendón conjunto limita con la parte medial del arco inguinal, el agujero profundo del conducto inguinal.

El músculo oblicuo externo del abdomen

El músculo **oblicuo externo del abdomen** (Figs. 45 y 46) constituye la capa superficial de los músculos anchos de la pared abdominal; la dirección general de sus fibras es oblicua de arriba abajo y de fuera adentro. Sus digitaciones carnosas se insertan en las siete últimas costillas; se recubren de abajo arriba y están imbricadas con las digitaciones del serrato anterior; los haces musculares se sitúan en la pared lateral del abdomen y originan una aponeurosis siguiendo una línea de transición inicialmente vertical, paralela al borde lateral del músculo recto del abdomen; posteriormente, será oblicua hacia abajo y hacia atrás. Esta aponeurosis participa en la constitución de la lámina anterior de la vaina de los músculos rectos del abdomen y se entrecruza en la línea media con su homólogo opuesto de modo que contribuye a la formación de la **línea alba abdominal**.

Las fibras que provienen de la digitación originada en la novena costilla se insertan en el pubis y envían expansiones aponeuróticas hacia los músculos aductores del mismo lado y del lado opuesto. Las fibras procedentes de la digitación que se origina en la décima costilla se insertan en el arco inguinal. Estos dos haces tendinosos delimitan el agujero superficial del conducto inguinal, triangular de vértice superoexterno, y cuya base inferoexterna está constituida por el pubis y la espina del mismo en la que se inserta el **ligamento inguinal**.

De la descripción de estos músculos de la pared abdominal que constituyen el grupo anterior de los músculos motores del raquis, conviene recordar las siguientes nociones:

- los músculos rectos del abdomen forman, en la parte más anterior del abdomen, dos bandas musculares que **actúan a gran distancia del raquis**, entre el orificio inferior del tórax, en su parte anterior, y la cintura pélvica, también en su parte anterior;
- los músculos anchos forman tres capas sucesivas cuyas fibras toman la siguiente dirección: transversal en la capa profunda del músculo transverso del abdomen, oblicua hacia arriba y hacia adentro en la capa media del músculo oblicuo interno del abdomen, oblicua hacia abajo y hacia dentro en la capa superficial del músculo oblicuo externo del abdomen.

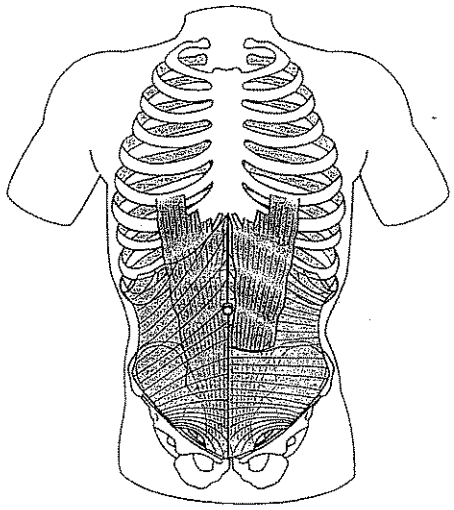


Fig. 43

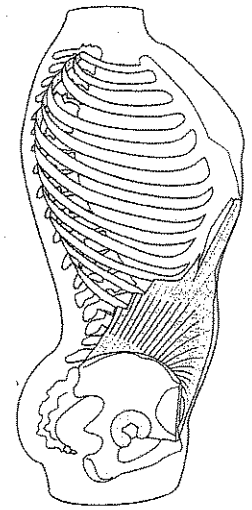


Fig. 44

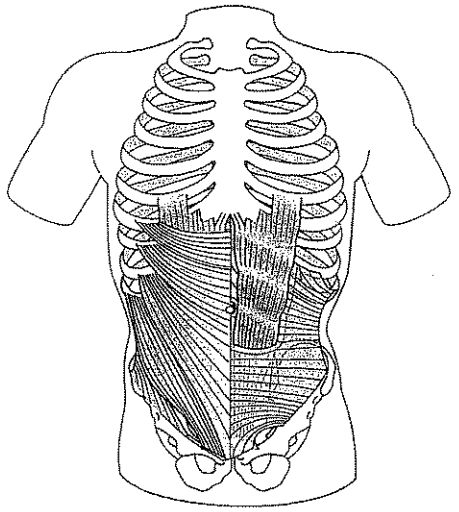


Fig. 45

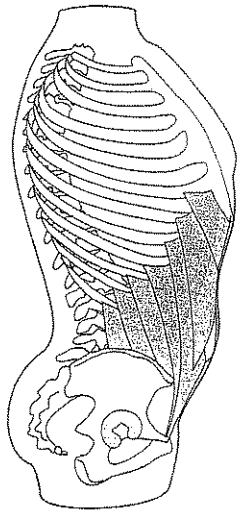


Fig. 46

Los músculos de la pared abdominal: el contorno del talle

Las fibras de los músculos anchos prolongadas por las fibras de sus respectivas aponeurosis tejen un **verdadero corsé alrededor del abdomen (Fig. 47)**. De hecho, la dirección de las fibras del músculo oblicuo externo del abdomen de un lado se prolongan en la dirección de las fibras del músculo oblicuo interno del abdomen del otro y viceversa. De manera que, considerados en conjunto, estos músculos oblicuos interno y externo del abdomen constituyen un tejido **romboideo** en vez de rectangular; las costureras dirían que este tejido está cortado al bies. Esta circunstancia le permite adaptarse al contorno del talle. Podría incluso afirmarse que este **"bies" determina literalmente la forma del talle.**

Una demostración permite ilustrar con facilidad este hecho con ayuda de un **modelo**:

- si se extienden unos hilos o gomas elásticas (**Fig. 48**) entre dos círculos, cuando su dirección es paralela al eje que une el centro de ambos círculos, se obtendrá una superficie cilíndrica.
- en cambio, si se hace girar el círculo superior respecto al inferior (**Fig. 49**), los hilos permanecen tensos pero toman una dirección oblicua y la superficie que "envuelve" todas estas rectas es una **hipérbole de revolución** cuyo contorno está entallado en forma de curva hiperbólica.

Este mecanismo permite comprender a la perfección la forma del talle, tanto más nítida cuanto más tensas estén las fibras oblicuas y, naturalmente, cuanto menos grueso sea el panículo adiposo. Para reconstruir el contorno del talle, será pues necesario **restablecer la tonicidad de los músculos oblicuos del abdomen.**

Sin embargo, el contorno de la parte inferior del abdomen depende también de los músculos anchos que forman una **verdadera cincha abdominal (Fig. 50)**, que podría calificarse de "faja". La eficacia de esta cincha está determinada por la tonicidad, no tanto de los músculos rectos del abdomen sino de la de los músculos anchos:

músculo oblicuo interno del abdomen (**en verde**);

- pero sobre todo, el músculo oblicuo externo del abdomen (**en azul**);
- y especialmente el músculo **transverso del abdomen (en amarillo)** en cuanto a su parte inferior.
- Estos músculos desempeñan un papel esencial en el parto, durante el **expulsivo.**

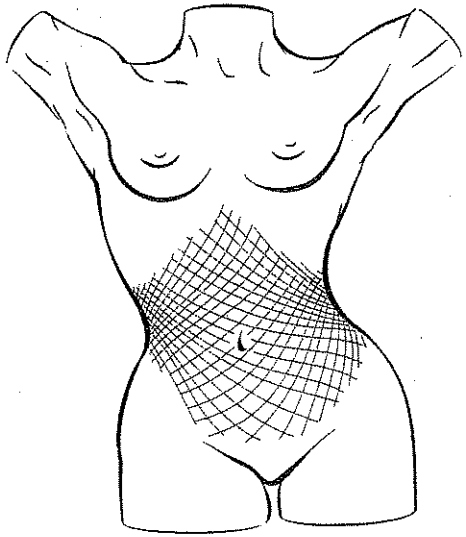


Fig. 47

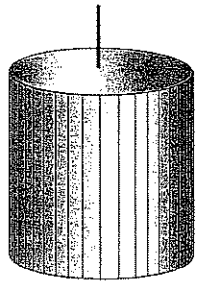


Fig. 48

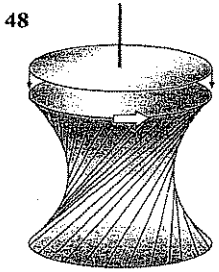


Fig. 49

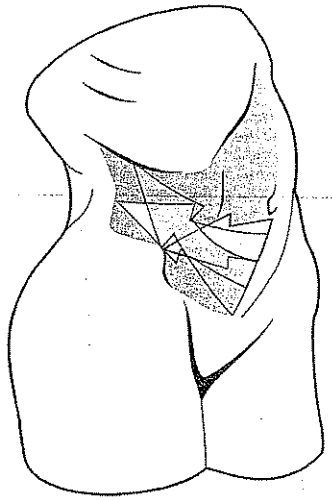


Fig. 50

Los músculos de la pared abdominal: la rotación del tronco

La rotación sobre el eje raquídeo la realizan los músculos de las correderas vertebrales y los músculos anchos del abdomen.

En una **visión superior** de dos vértebras lumbares (**Fig. 51**), puede apreciarse como la contracción unilateral de los músculos de las correderas vertebrales ejerce un ligero efecto rotador, pero la capa muscular más profunda, la de los músculos **transversoespinosos (TS)**, tiene una acción rotadora mucho más acentuada: tomando como punto fijo las apófisis transversas subyacentes, los músculos transversoespinosos tiran hacia fuera de la apófisis espinosa de la vértebra suprayacente, determinando así una rotación hacia el lado opuesto a su contracción, en torno al centro de rotación localizado en la base de la apófisis espinosa (**cruz negra**).

En el transcurso de la **rotación del tronco** (**Fig. 52**), la acción principal la llevan a cabo los músculos oblicuos del abdomen. De hecho, su trayecto enrollado en espiral alrededor del talle le confiere una gran eficacia, así como sus inserciones a distancia del raquis sobre la caja torácica, lo que moviliza no sólo el raquis lumbar, sino también el raquis torácico inferior.

Para obtener la rotación del tronco hacia la izquierda (**Fig. 52**), es necesario contraer, por una parte, el músculo oblicuo externo del abdomen (**OE**) del lado derecho, y por otra, el músculo oblicuo interno del abdomen (**OI**) del lado izquierdo. Es preciso recalcar que estos dos músculos están enrollados en el mismo sentido alrededor de la cintura (**Fig. 53**) y que sus fibras musculares y aponeuróticas se **prolongan en la misma dirección**. Por lo tanto, en esta acción de rotación son **sinérgicos**.

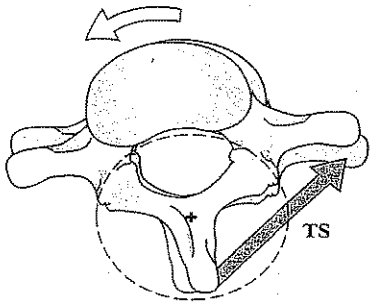


Fig. 51

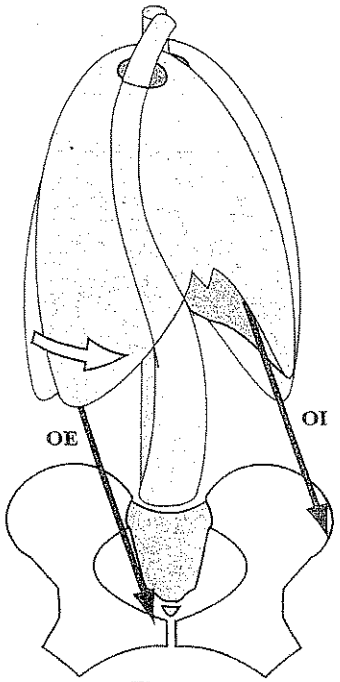


Fig. 52

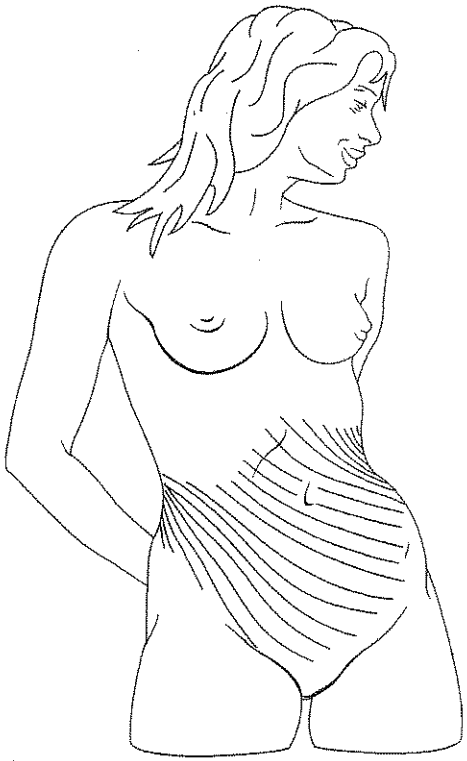


Fig. 53

Los músculos de la pared abdominal: la flexión del tronco

Los músculos de la pared abdominal son potentes **flexores del tronco (Fig. 54)**. Situados por delante del eje raquídeo, movilizan el conjunto del raquis hacia delante sobre las charnelas lumbosacra y toracolumbar. Su acción es **muy potente**, ya que se lleva a cabo mediante dos grandes brazos de palanca:

- el **brazo de palanca inferior**, constituido por la distancia promonto-púbica;
- y el **brazo de palanca superior**, representado por la consola que se apoya en el raquis torácico inferior, que representa el grosor del tórax inferior.

La longitud de este brazo de palanca es la distancia **dorso-xifoidea**; el músculo recto del abdomen **(RA)** que une directamente la apófisis xifoides a la sínfisis púbica, realiza una potente acción de flexión del raquis. Se ve reforzado por dos músculos anchos, el músculo **oblicuo interno** del abdomen **(OI)** y el músculo **oblicuo externo del abdomen (OE)** que unen el orificio inferior del tórax al borde superior de la cintura pélvica.

Mientras que el músculo recto del abdomen constituye un tensor directo, el músculo oblicuo interno del abdomen constituye un tensor oblicuo hacia abajo y hacia atrás, y el músculo oblicuo externo del abdomen un tensor oblicuo hacia abajo y hacia delante. Además, ambos desempeñan el papel de sustentadores cuanto más oblicuos son.

Estos músculos desempeñan una doble acción:
por un lado flexionan el tronco hacia delante **F**;
por otro lado, enderezan potentemente la lordosis lumbar **R**.

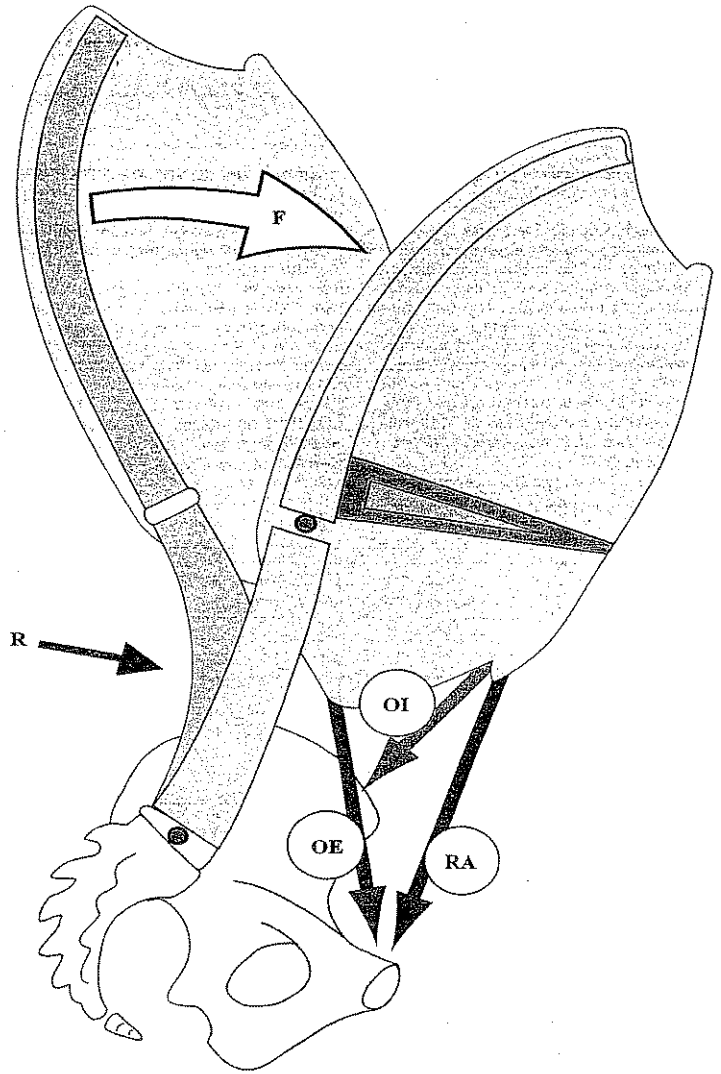


Fig. 54

Los músculos de la pared abdominal: el enderezamiento de la lordosis lumbar

La mayor o menor curva del raquis lumbar depende no sólo del tono de los músculos abdominales y raquídeos, sino también de ciertos músculos de los miembros inferiores unidos a la cintura pélvica. En la posición denominada **"asténica"** (**Fig. 55**), la relajación de la musculatura abdominal **(flechas azules)** conlleva una exageración de todas las curvas raquídeas:

- **hiperlordosis lumbar L**;
- acentuación de la cifosis torácica **T**;
- acentuación de la lordosis cervical **C**.

Debido a esto, la cabeza se desplaza hacia delante **b**. Además, la **pelvis bascula en anteversión (flecha blanca)**: la línea que une la espina ilíaca anterosuperior a la espina ilíaca posterosuperior se hace oblicua hacia abajo y hacia delante.

El músculo **psoas mayor (P)** flexiona el raquis lumbar sobre la pelvis y **acentúa la lordosis lumbar** que se ve agravada por la hipertonicidad del mismo; esta actitud asténica la suelen adoptar sujetos carentes de energía y voluntad.

También se observan curvas del raquis parecidas en las mujeres en estado avanzado de gestación, en el que la distensión de los músculos de la pared abdominal, al igual que el desplazamiento hacia delante del centro de gravedad debido al desarrollo del feto, perturban considerablemente la estática pélvica y raquídea.

El enderezamiento de las curvas raquídeas (**Fig. 56**) comienza en la pelvis.

La **corrección de la anteversión pélvica** se obtiene mediante la acción de los músculos extensores de la articulación de la cadera:

- la contracción de los músculos **isquiotibiales (IT)** y sobre todo del músculo **glúteo mayor (G)** acarrea la báscula de la pelvis hacia atrás **(flecha blanca)** y restablece la horizontalidad de la línea biespinosa. Así, el sacro se verticaliza y la curva del raquis lumbar disminuye;
- el papel más importante en la corrección de la hiperlordosis lumbar le corresponde a los músculos del abdomen y en particular a los músculos **rectos del abdomen** (RA) localizados en el lado de la convexidad de la curva lumbar y que actúan, como se ha expuesto con anterioridad, a través de dos grandes brazos de palanca. Basta entonces con contraer los dos músculos glúteos mayores y los dos músculos rectos del abdomen para conseguir un **enderezamiento de la lordosis lumbar**.

A partir de este momento, la acción extensora de los **músculos de las correderas lumbares** (S) puede lograr la tracción hacia atrás de las primeras vértebras lumbares:

- la contracción de los músculos del plano dorsal conlleva la **disminución de la cifosis torácica**;
- la acción de los músculos del raquis cervical, como se podrá comprobar más adelante, permite obtener del mismo modo un **enderezamiento de la lordosis cervical.**

Resumiendo, con las curvas borradas, el **raquis es más alto h** (esto corresponde a un ligero aumento del índice raquídeo de Delmas) y así, el mismo individuo puede ganar 1, 2 e incluso 3 cm en altura.

Esta es la teoría clásica, pero, recientemente, estudios "inclinométricos" han demostrado (Klausen 1965) que el raquis en conjunto se comporta como un brazo de grua, en posición de voladizo anterior. Los electromiogramas simultáneos de los músculos del plano posterior y de los abdominales (Asmussen & Klausen, 1962) ponen de manifiesto que en cuatro de cada cinco individuos, la bipedestación controlada por el simple reflejo postural inconsciente no necesita más que la contracción tónica de los músculos del plano posterior. Cuando el sujeto carga la parte superior de su raquis colocando un peso sobre su cabeza o llevando peso en las manos con los brazos colgando a lo largo del cuerpo, el voladizo anterior del raquis aumenta ligeramente, mientras que la lordosis lumbar disminuye y la cifosis torácica se acentúa. Simultáneamente, el tono de los músculos espinales aumenta para limitar el voladizo.

Por lo tanto, los músculos abdominales no participan en la estática raquídea inconsciente, lo que no significa que no actúen durante el **enderezamiento consciente** de la lordosis lumbar, en la posición de "¡firmes!" por ejemplo, o en el acarreo de cargas pesadas en voladizo anterior.

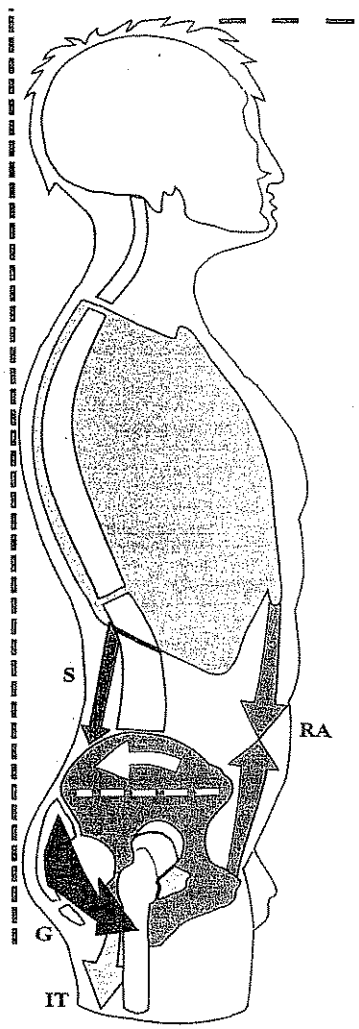


Fig. 56

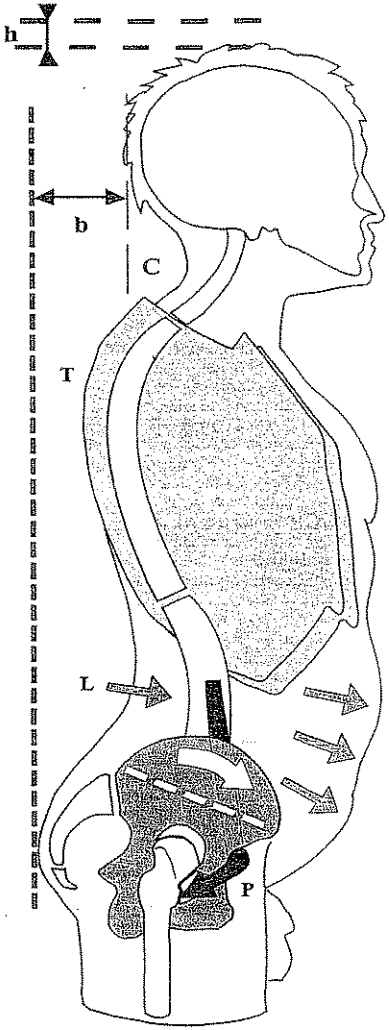


Fig. 55

El tronco como estructura hinchable. Prueba de Valsalva

Si en la **posición de inclinación hacia delante (Fig. 57)** sólo se considera la acción de los músculos raquídeos, las fuerzas que se ejercen sobre el disco lumbosacro son considerables.

De hecho, el peso de la parte superior del tronco junto con la cabeza se aplica a la altura del **centro de gravedad parcial (P)** localizado justo por delante de la décima vértebra torácica. Este peso **(P1)** recae en el extremo de un gran brazo de palanca, cuyo punto fijo se sitúa en el núcleo pulposo de **L5-S1**. Para equilibrar esta fuerza, los músculos **espinales (E1)** que actúan sobre un brazo de palanca de 7 a 8 veces más corto, precisan de una fuerza de 7 a 8 veces superior al peso P1. La fuerza que se ejerce sobre el disco lumbosacro será igual a la **suma** de **P1** y de **E1** y será tanto más acentuada cuanto más inclinado esté el individuo hacia delante y, sobre todo, teniendo en cuenta el peso que lleva en las manos.

Se calcula que para **levantar una carga de 10 kg**, con las rodillas flexionadas y el tronco vertical, la fuerza **E1** desarrollada por los músculos espinales es de **141 kg**. La misma carga de 10 kg levantada con las rodillas extendidas y el **cuerpo inclinado hacia delante** desarrolla una fuerza **E1** de 256 kg. Si esta misma **carga se lleva con los brazos extendidos hacia delante**, la fuerza **E1** necesaria es de 363 kg. En este momento, según los autores, la **carga que soporta el núcleo pulposo** oscilaría entre 282 y 726 kg pudiendo alcanzar los **1200 kg**, lo que es **claramente superior a las cargas de ruptura de los discos vertebrales**: 800 kg antes de los 40 años, 450 kg en los individuos de edad avanzada.

Dos hechos pueden explicar esta aparente contradicción:

- por una parte, la totalidad de la fuerza que se ejerce sobre el disco intervertebral no la soporta únicamente el núcleo pulposo. Nachemson, determinando la presión del interior del núcleo pulposo, demostró que cuando se ejerce una fuerza sobre un disco, el núcleo pulposo soporta el 75% de la carga y el anillo fibroso el 25%;
- por otra parte, **el tronco en conjunto interviene (Fig. 58)** para suavizar la presión sobre el disco lumbosacro y los discos del raquis lumbar inferior. En efecto, se puede constatar que durante los esfuerzos de levantamiento, se desarrolla instintivamente una **"presión abdominal"**, también denominada **maniobra de Valsalva**. Esta asocia el **cierre de la glotis G** y de todos **los agujeros abdominales F**, del ano y del esfínter vesical, transformando así la cavidad abdominotorácica en una cavidad cerrada **A + T** gracias a la **contracción mantenida de los músculos espiratorios**, y en particular de los **músculos abdominales (RA)**. De este modo, la presión aumenta considerablemente en la cavidad abdominotorácica y la convierte en una viga rígida situada por delante del raquis que transmite las fuerzas a la cintura pélvica y al periné.

Este mecanismo, empleado por los alterófilos, disminuye la compresión en los discos: en el disco **T12-L1** decrece un **50%** y en el **disco lumbosacro un 30%**. Por este mismo motivo, la tensión de los músculos espinales disminuye un 55%.

Es muy útil para suavizar las fuerzas que se ejercen sobre el raquis; sin embargo, sólo actúa durante cortos espacios de tiempo. De hecho, provoca una **apnea absoluta** y causa importantes alteraciones circulatorias:

- **hiperpresión en el sistema venoso cefálico;**
- **disminución del retorno venoso al corazón;**
- disminución del volumen de sangre contenido en las **paredes alveolares;**
- **aumento de la resistencia en la circulación menor.**

Además, supone la integridad de los músculos de la cincha abdominal y la posibilidad de un cierre de la glotis y de los otros orificios abdominales. Por último, la hiperpresión toracoabdominal se acompaña de una derivación de la circulación venosa de retorno por los **plexos venosos perirraquídeos.** Esto acarrea a su vez la hiperpresión del líquido cefalorraquídeo. Tal situación no puede prolongarse indefinidamente y los esfuerzos de levantamientos de cargas pesadas sólo pueden ser **breves e intensos.**

Para disminuir la compresión en los discos intervertebrales, es preferible **levantar las cargas con el tronco vertical** antes que con el tronco inclinado hacia delante con un voladizo importante. **Este es el consejo que debe darse a los individuos expuestos a hernias discales.**

Una **variante de la maniobra de Valsalva (Fig. 59)**, utilizada por los submarinistas, consiste en cerrar la **boca** y los **orificios de la nariz (N)** pinzándolos, y no la glotis, lo que aumenta la presión en la cavidad timpánica. Tragando simultáneamente, la trompa de Eustaquio **E** se abre, lo que aumenta la presión en el oído interno proporcionando un **equilibrio con la presión externa ejercida sobre el tímpano.**

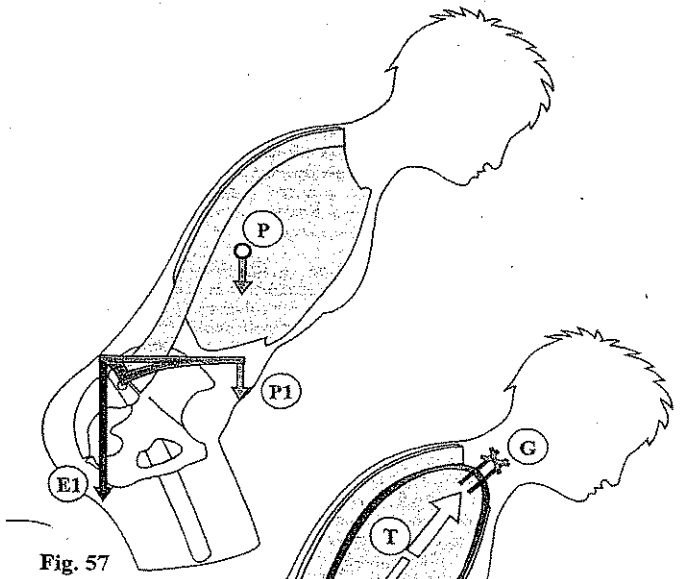


Fig. 57

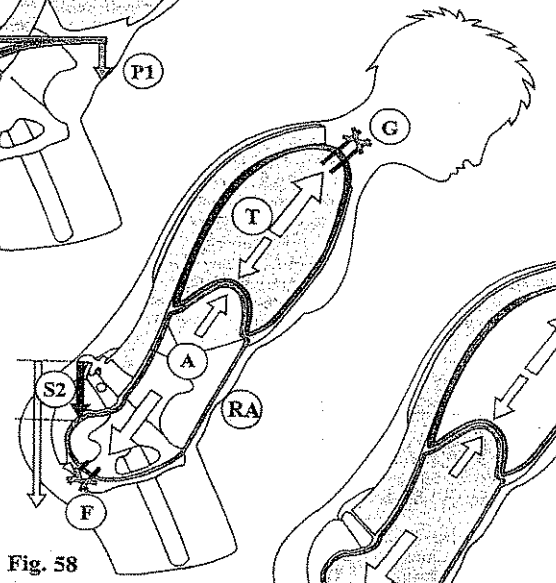


Fig. 58

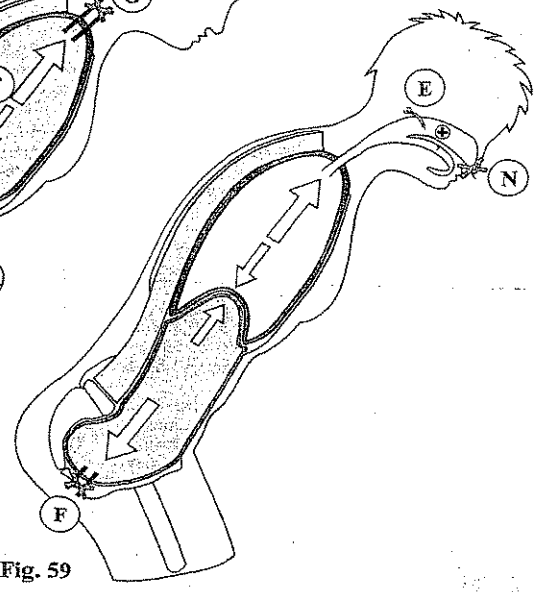


Fig. 59

Estática del raquis lumbar en bipedestación

En apoyo simétrico sobre los dos miembros inferiores, el **raquis lumbar visto de perfil (Fig. 60)**, presenta, como ya se ha visto con anterioridad, una curva de concavidad posterior denominada **lordosis lumbar (L)**.

Visto de **espaldas en apoyo simétrico (Fig. 61)** es rectilíneo, en cambio, en la **posición "en jarra" (Fig. 62)**, es decir en apoyo asimétrico sobre un solo miembro inferior, el raquis lumbar presenta una concavidad hacia el lado del apoyo, lo que se debe a la báscula de la pelvis **(P)**, la articulación de la cadera del lado del apoyo está más elevada que la articulación de la cadera que no soporta carga alguna.

Para compensar esta inflexión lumbar, el raquis torácico adopta una curva de concavidad opuesta, es decir hacia el lado del miembro sin carga y la línea de los hombros **(H)** se inclina hacia el lado del apoyo.

Por último, el **raquis cervical** adopta una curva de concavidad hacia el lado del apoyo; es decir en el mismo sentido de la curva lumbar.

En la posición simétrica **(Fig. 61)**, la línea de los hombros **(H)** es horizontal y paralela a la línea de la pelvis que pasa por las fositas sacras, siempre visibles.

Los estudios electromiográficos de Brügger han demostrado que durante la **flexión del tronco (Fig. 63)**, los músculos **espinales (E)** son los primeros en contraerse enérgicamente, seguidos de los músculos **glúteos (G)** y, por último, los músculos **isquiotibiales (IT)** y los músculos **sóleos (S)**.

Al final de la flexión, el raquis se estabiliza únicamente por la acción pasiva de los **ligamentos raquídeos (LR)** que toman como punto fijo la pelvis, cuya anteversión retienen los **isquiotibiales (IT)**.

Durante el **enderezamiento (Fig. 64)**, los músculos intervienen en el orden inverso: en primer lugar los músculos **isquiotibiales (IT)**; en segundo lugar los músculos **glúteos (G)** y en tercer y último lugar, los músculos **lumbares** y los **torácicos (T)**.

En **bipedestación rectilínea (Fig. 60)**, el ligero desequilibrio hacia delante está controlado por la contracción tónica de los músculos del plano posterior, músculos tríceps **surales (TS)**, músculos **isquiotibiales (IT)**, músculos **glúteos (G)**, músculos **espinales (E)**; los músculos abdominales en cambio, están relajados (Asmussen), músculos **cervicales C**.

En **ocasiones**, se ven en las playas chicas jóvenes con **actitud "asténica"**: los músculos del abdomen relajados **1** permiten que la barriga sobresalga, el pecho hundido **2**, y la cabeza proyectada hacia delante **3**. Todas las curvas raquídeas están acentuadas: los riñones huecos **4** debido a la hiperlordosis, la espalda redondeada **5** por una cifosis excesiva, la nuca hueca **6** por la hiperlordosis cervical. En este caso, de nuevo el remedio es sencillo: ¡Aumentar el tono! ¡Contraer los músculos isquiotibiales y apretar los músculos glúteos, desplazar los hombros hacia atrás empleando los músculos torácicos y mirar hacia el horizonte..... ¡Ninguna blandeza!

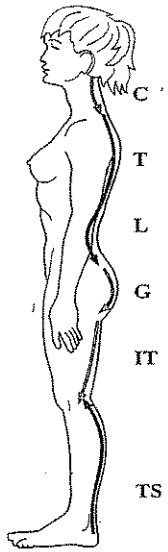


Fig. 60

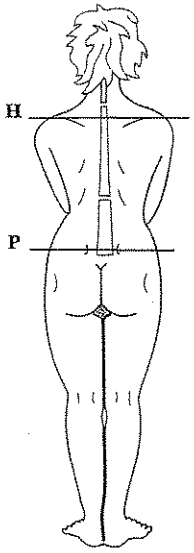


Fig. 61

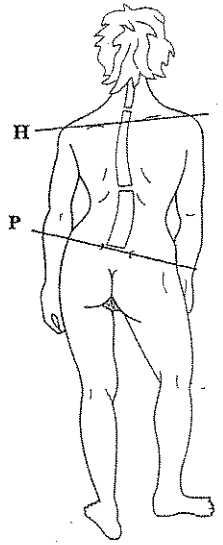


Fig. 62

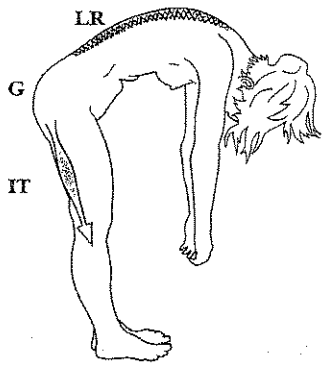


Fig. 63

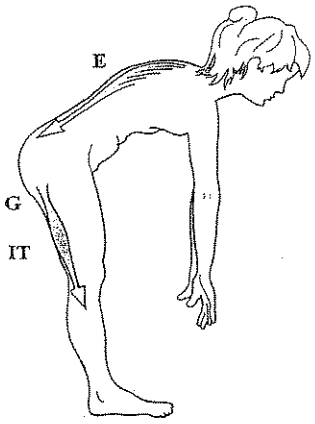


Fig. 64

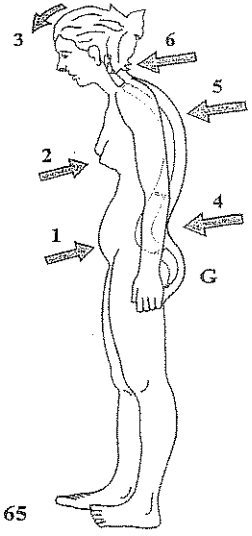


Fig. 65

Las posiciones de sedestación y bipedestación asimétricas: el raquis de los músicos

En las estatuas griegas, la evolución es significativa entre los *Kouros* **(Fig. 66)**, de pie en posición simétrica, sin flexibilidad, herederos de las estatuas egipcias, y de **Apolonio de Praxiteles (Fig. 67)**, cuya flexibilidad convierte el mármol o el bronce en algo vivo. Este escultor genial, inventó la **postura praxiteliana**, posición "en jarra", en apoyo asimétrico, que posteriormente inspiró todo el arte de la escultura. Con anterioridad a los militares actuales, los escultores griegos ya habían inventado el "¡Firmes!" y el "¡Descanso!"....

Esta postura praxiteliana se halla en muchas actividades de la vida cotidiana, especialmente en los artesanos y en los músicos. Para los **violinistas (Fig. 68)**, la posición de la pelvis es la mayoría del tiempo simétrica, pero la cintura escapular debe adoptar una posición muy asimétrica, desencadenando una actitud totalmente anormal del raquis cervical. Así pues, las alteraciones funcionales son muy frecuentes en estos artistas, influyendo en ocasiones gravemente en su carrera, y necesitando acudir a fisioterapeutas muy especializados.

Todos los instrumentos de cuerda imponen una posición asimétrica. Los **guitarristas (Fig. 69)** trabajan no sólo con una posición asimétrica de la cintura escapular, sino que, con frecuencia, también con la pelvis asimétrica, con el pie izquierdo elevado sobre un alza.

Los **pianistas** necesitan que la pelvis esté correctamente sentada, y, para ellos, la regulación del asiento es muy importante:

- sentada sobre un asiento **a una distancia adecuada y a una altura adecuada (Fig. 70)**, el raquis no presenta curvas anormales y la cintura escapular está en una posición tal que los miembros superiores pueden alcanzar el teclado sin esfuerzo y sin contorsión alguna;
- si el asiento está **demasiado alejado (Fig. 71)**, el raquis trabaja en condiciones anormales, y para que las manos puedan alcanzar el teclado, el raquis debe adoptar una cifosis torácica y una híperlordosis cervical. Además, la distancia excesiva de las manos fatiga la cintura escapular.

Incluso si el asiento está bien regulado, el pianista debe saber controlar la curva de su raquis lumbar **(Fig. 72)**, ya que una híperlordosis permanente acaba ocasionando lumbalgias.

Resumiendo, es fácil constatar que **en los músicos**, sobre todo en aquellos que tocan **instrumento de cuerda, es fundamental un buen control de la estática raquídea.** De hecho, muchas alteraciones en el ejercicio de su profesión y de su arte pueden desencadenar **malas actitudes rebeldes**, que, con frecuencia, son muy difíciles de corregir incluso con fisioterapia a largo plazo llevada a cabo por **fisioterapeutas especializados**. El raquis también tiene una gran importancia en la **suspensión de la cintura escapular** que trabaja con frecuencia **en condiciones asimétricas**, en las que una mala actitud perenne también puede acarrear consecuencias desastrosas. Los músicos deben sin duda alguna cuidar escrupulosamente su raquis...

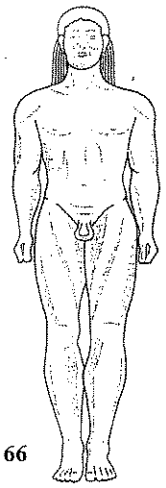


Fig. 66

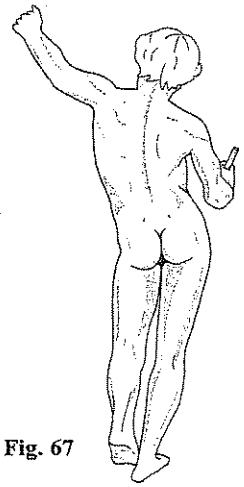


Fig. 67

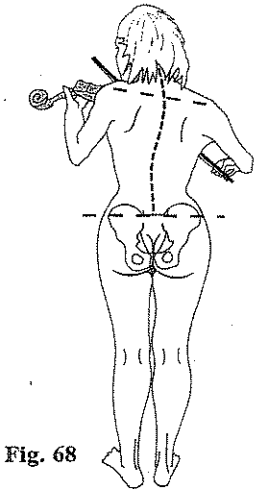


Fig. 68

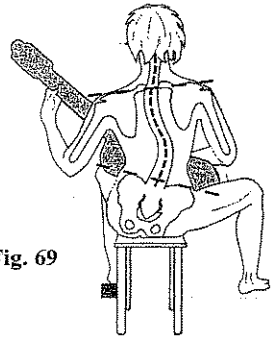


Fig. 69

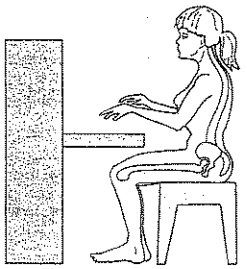


Fig. 70

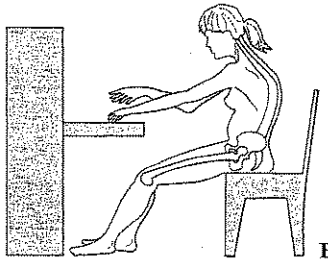


Fig. 71

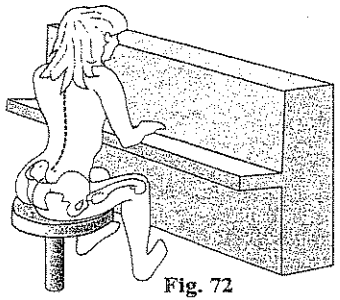


Fig. 72

El raquis en las posiciones de sedestación y decúbito

Las posiciones en sedestación

En la **posición de sedestación con apoyo isquiático (Fig. 73)**, en la postura denominada de la mecanógrafa, sin respaldo, el peso del cuerpo reposa únicamente sobre los isquiones, la pelvis está en equilibrio inestable, más bien solicitada en anteversión, de ahí una hiperlordosis lumbar y las curvas torácica y cervical acentuadas. Los músculos de la cintura escapular, y especialmente el músculo **trapecio** que sostiene la cintura escapular y los miembros superiores, actúan para mantener la estática raquídea. A la larga, esta actitud causa **dolor**, conocido como **"síndrome de las mecanógrafas" o síndrome de los trapecios**.

En la **posición de sedestación con apoyo isquiofemoral (Fig. 74)** denominada del cochero, el tronco inclinado hacia delante, reposando acodado sobre las rodillas, el apoyo se lleva a cabo a través de las tuberosidades isquiáticas y de la cara posterior de los muslos. La pelvis está en anteversión y la acentuación de la cifosis torácica conlleva el enderezamiento de la lordosis lumbar. Si los miembros superiores actúan como puntales, el tronco permanece estable con un mínimo esfuerzo muscular e incluso es posible conciliar el sueño. Es una posición de reposo de los músculos de las correderas vertebrales, los enfermos afectados de **espondilolistesis** la adoptan con frecuencia de manera instintiva ya que disminuye el efecto de cizallamiento sobre el disco lumbosacro y permite la relajación de los músculos del plano posterior.

En la **posición de sedestación con apoyo isquiosacro (Fig. 75)**, el tronco, totalmente echado hacia atrás, reposa sobre el respaldo de la silla y el apoyo se realiza con las tuberosidades isquiáticas y la cara posterior del sacro y del cóccix. **La pelvis está en retroversión, la lordosis lumbar está enderezada,** la cifosis torácica acentuada y la cabeza puede caer hacia delante sobre el tórax, a la vez que se invierte la lordosis cervical. También es una posición de reposo que puede incluso suscitar el sueño, aunque la respiración resulta dificultosa debido a la flexión del cuello y al peso de la cabeza sobre el esternón: esta posición reduce el deslizamiento anterior de L5 y relaja los músculos posteriores del raquis lumbar, aliviando así los dolores de la espondilolistesis.

El decúbito

El **decúbito supino con los miembros inferiores extendidos (Fig. 76)**, es la posición más comúnmente adoptada para el reposo: la tracción sobre el músculo psoas mayor provoca una hiperlordosis lumbar y produce un hueco "debajo de los riñones".

En la **posición de decúbito supino con los miembros inferiores flexionados (Fig. 77)**, la **relajación de los músculos psoas mayores** acarrea una retroversión pélvica y una **disminución de la lordosis lumbar**: el "hueco de los riñones" contacta con el plano de apoyo, consiguiendo así una mejor relajación de los músculos espinales y abdominales.

En la **posición denominada de "relajación" (Fig. 78)**, conseguida con ayuda de cojines o de asientos especiales, donde el plano de apoyo torácico es cóncavo determinando un enderezamiento de la lordosis lumbar y de la lordosis cervical; un **apoyo debajo de las rodillas** flexiona las caderas, con lo que el músculo psoas mayor y los músculos isquiotibiales se relajan.

En la **posición de decúbito lateral (Fig. 79)**, el raquis sigue una curva sinuosa: convexidad lumbar inferior, la línea de las dos espinas ilíacas posterosuperiores marcada por las fositas sacras y la línea de los hombros convergen por encima del sujeto. El raquis torácico presenta una curva de convexidad superior. Con esta postura no se consigue una relajación muscular general y provoca algunas dificultades respiratorias durante las anestesias.

En cuanto a la **posición de decúbito prono**, tiene todos los inconvenientes del decúbito dorsal (hiperlordosis lumbar) agravados por las dificultades respiratorias debidas al apoyo sobre la caja torácica y el abdomen, que comprime la masa abdominal contra el diafragma, disminuyendo así su desplazamiento y, finalmente, la posible obstrucción de las vías respiratorias por el plano de apoyo, las secreciones o los cuerpos extraños. No obstante, son muchas las personas que adoptan esta postura para dormir, aunque la cambian de inmediato. De manera general, nunca se mantiene durante mucho tiempo una misma posición durante el sueño, ya que de este modo se consigue la **relajación sucesiva de todos los grupos musculares** y, sobre todo, **el desplazamiento de los puntos de apoyo**, pues es sabido que **permanecer en un mismo punto de apoyo más de tres horas puede producir escaras** por isquemia de los tegumentos.

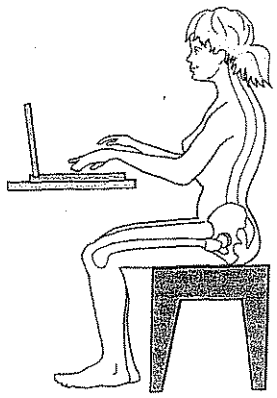


Fig. 73

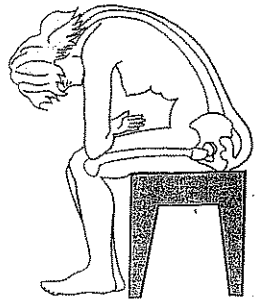


Fig. 74

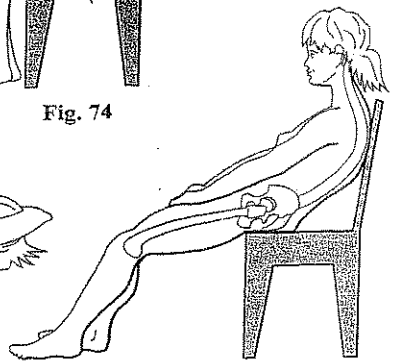


Fig. 75

Fig. 76

Fig. 77

Fig. 78

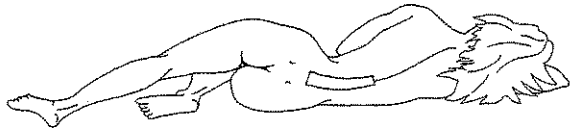


Fig. 79

Amplitud de flexoextensión del raquis lumbar

Las amplitudes de flexoextensión del raquis lumbar varían según los individuos y según la edad. Por lo tanto, todas las cifras propuestas son casos particulares o promedios. No obstante se puede asumir **(Fig. 80)** que:
la **extensión**, que se acompaña de una hiperlordosis lumbar, tiene una amplitud de 30°;
la **flexión**, que se acompaña de un enderezamiento de la lordosis lumbar, tiene una amplitud de 40°.
Los trabajos de David y Albrook **(Fig. 81)** permiten conocer la amplitud individual de flexoextensión en cada nivel **(columna de la derecha)** y la amplitud total y acumulada de la flexoextensión **(columna de la izquierda)**: 83°; o sea, bastante próxima a los 70° citados anteriormente.

Por otra parte, la **amplitud máxima de flexoextensión** se sitúa entre **L4** y **L5**: 24° y, a continuación, por orden de amplitud decreciente, vienen las interlíneas L3-L4 y L5-S1 todas ellas de 18° y, casi de la misma amplitud, las interlíneas L2-L3 de 12° y L1-L2 de 11°. De este modo, el raquis lumbar inferior es, para estos autores, mucho más móvil en el plano de la flexoextensión que el raquis lumbar superior.
Como cabía esperar, las amplitudes de la flexión son bien distintas según la edad como bien muestra el **cuadro adjunto (Fig. 82, según Tanz)**. Este cuadro permite constatar que la movilidad del raquis lumbar **decrece con la edad**, siendo máxima entre los dos y los trece años. La movilidad máxima se sitúa en la parte baja del segmento lumbar, sobre todo en el espacio L4-L5.

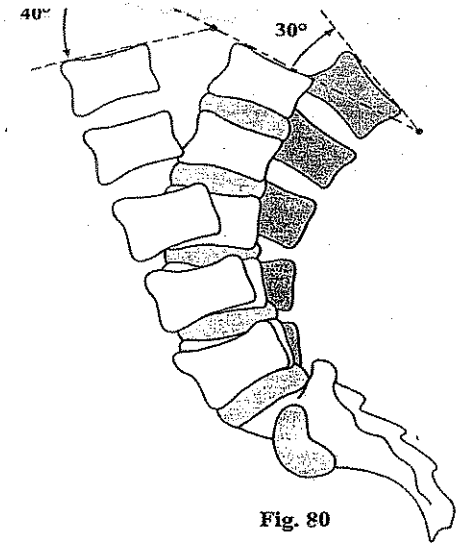


Fig. 80

2-13 años	35-49 años	50-64 años	65-77 años
	8°	4°	2°
10°	8°	5°	5°
13°	9°	8°	3°
17°	12°	8°	7°
24°	8°	8°	7°

Fig. 82

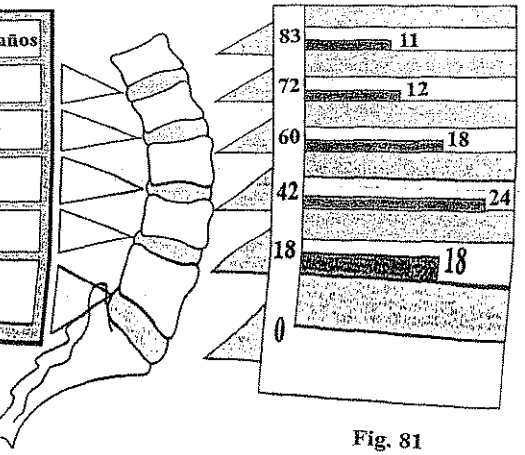


Fig. 81

Amplitud de inclinación del raquis lumbar

Como en el caso de la flexoextensión, la **amplitud de la inflexión lateral (Fig. 83)**, también denominada inclinación, varía según la edad y según los individuos: sin embargo, se puede afirmar que en término medio, la inclinación es de 20° a 30° a cada lado.
Las **amplitudes de inclinación (Fig. 84, según Tanz)** han sido estudiadas **en cada nivel**. Éstas disminuyen considerablemente con la edad:

- **máximas de los dos a los trece años**, alcanzando los 62° a un lado y otro de la posición media;
- entre los 35 y los 49 años, la amplitud sólo es de 31° a cada lado;
- disminuye a 29° entre los 50 y los 64 años;
- y a 22° entre los 65 y 77 años.

Tras haber sido muy importante hasta los trece años, la inflexión lateral permanece relativamente estable en torno a los 30° de 35 a 64 años, después desciende a 20°. En la edad media de la vida, la amplitud total de la inflexión entre la derecha y la izquierda es de 60°, lo que es casi igual a la amplitud total de flexoextensión del raquis lumbar.
No deja de ser interesante recalcar que la amplitud segmentaria de la inclinación a nivel del disco L5-S1 es bastante limitada, ya que de 7° en la juventud disminuye rápidamente a 2°, 1° e incluso 0° en edad avanzada. **La amplitud máxima se localiza entre L4 y L5 y, sobre todo, entre L3 y L4** donde es de 16° en la juventud para después permanecer relativamente estable alrededor de los 8° entre los 35 y los 64 años y, por último, disminuir a 6° en la edad senil.

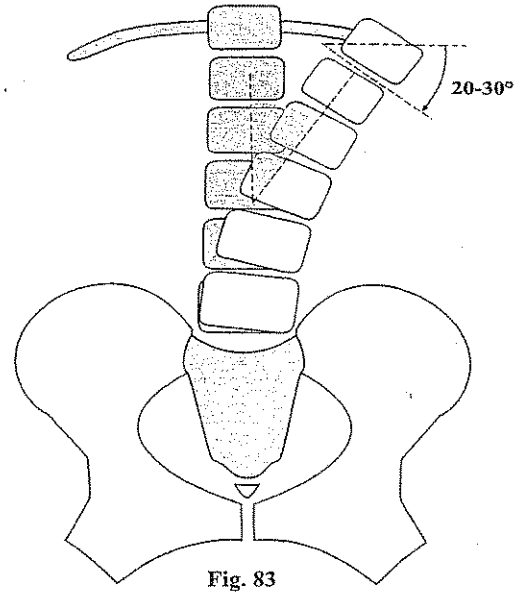
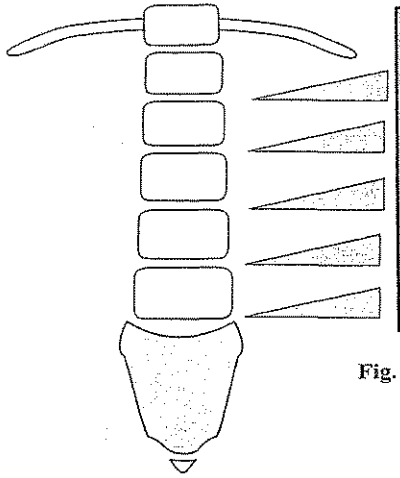


Fig. 83



2-13 años	35-49 años	50-64 años	65-77 años
12°	5°	6°	4°
12°	8°	7°	7°
16°	8°	8°	6°
15°	8°	7°	5°
7°	2°	1°	0°

Fig. 84

Amplitud de rotación del raquis toracolumbar

La amplitud de **rotación segmentaria y total en el raquis lumbar y en el raquis torácico** ha sido durante mucho tiempo una gran incógnita. De hecho, es muy difícil inmovilizar la pelvis y apreciar la rotación en el segmento torácico del raquis, ya que la cintura escapular es muy móvil sobre el tórax, pudiendo así cometerse errores fácilmente. Ha sido necesario esperar a los recientes trabajos de Gregersen y Lucas para disponer de cifras fiables. Estos autores decidieron implantar agujas metálicas bajo anestesia local en cada una de las apófisis espinosas del raquis torácico y lumbar para medir su desplazamiento angular mediante captores electrónicos altamente sensibles. Así, pudieron medir la **rotación del raquis toracolumbar durante la marcha (Fig. 85)** y en su **amplitud total en sedestación y bipedestación (Fig. 86).**

Durante la **marcha (Fig. 85)**, el lado izquierdo del gráfico muestra que el disco T7- T8 permanece en el sitio, mientras que la rotación es máxima en las dos vértebras adyacentes (lado derecho del gráfico). Por tanto, las mayores amplitudes de rotación se sitúan en torno a este **"nivel-pivote"**, decreciendo a continuación con regularidad hacia arriba y hacia abajo, para reducirse de manera considerable en el raquis lumbar 0,3° y en el raquis torácico superior 0,6°, tal y como muestra la curva **D. La rotación del raquis lumbar es por tanto dos veces menor que en las zonas menos móviles del raquis dorsal;** ya se vieron anteriormente las causas anatómicas de esta limitación.

Si a continuación se analiza **la rotación total y máxima derecha-izquierda (Fig. 87)**, Gregersen y Lucas ponen de manifiesto una ligera diferencia según se tome la medida en sedestación S o en bipedestación **B. La posición de sedestación** da amplitudes más limitadas, ya que la pelvis se inmoviliza con más facilidad cuando las articulaciones de las caderas están flexionadas, lo que permite fijar el plano frontal de referencia **F.**

En lo concerniente al **raquis lumbar** aislado, la **rotación total derecha-izquierda** para la totalidad del raquis lumbar sólo es de **10°**, lo que corresponde a 5° a cada lado y por lo tanto, 1° de rotación en cada segmento por término medio.

En el **raquis torácico**, la rotación es considerablemente mayor ya que alcanza en total, entre la rotación derecha y la rotación izquierda, una amplitud de 85-10°, o sea 75°, y por lo tanto, **37° a cada lado** o también, por término medio, de **3 a 4° a cada lado y por segmento.** Obsérvese pues que, a pesar de la presencia de la caja torácica, la rotación es **cuatro veces mayor en el raquis torácico** en conjunto que en el raquis lumbar.

La comparación de las dos curvas permite constatar que tanto en la posición de sedestación como en la posición de bipedestación, la amplitud total de la rotación derecha-izquierda es idéntica. Únicamente varían las proporciones entre estas dos curvas; y en particular la curva en bipedestación muestra **cuatro puntos de inflexión,** especialmente un punto de inflexión **en la zona inferior del raquis lumbar cuya rotación es más amplia en la citada posición.** Al parecer, acontece lo mismo en la zona de transición de la **charnela toracolumbar.**

En la práctica, como resulta imposible implantar agujas en las apófisis espinosas de los individuos a quienes se desea medir la rotación del raquis toracolumbar, hay que contentarse con los **antiguos métodos clínicos;** para lo que es necesario que el sujeto **esté sentado (Fig. 87),** intentando que la línea de los hombros se mantenga estable en relación al tórax; a continuación se le pide que realice una rotación hacia un lado y luego hacia el otro, tras lo cual se medirá el ángulo **F** formado por la línea de los hombros con el plano frontal. En este caso la amplitud es de 15° a 20°, aunque no representa la amplitud máxima de rotación unilateral que, según Gregersen y Lucas, es de unos 45°. Una forma práctica de fijar la cintura escapular con respecto al tórax consiste en situar los miembros superiores horizontalmente sobre un mango de una escoba colocado en la espalda a la altura de las escápulas, materializando así **la línea de los hombros.**

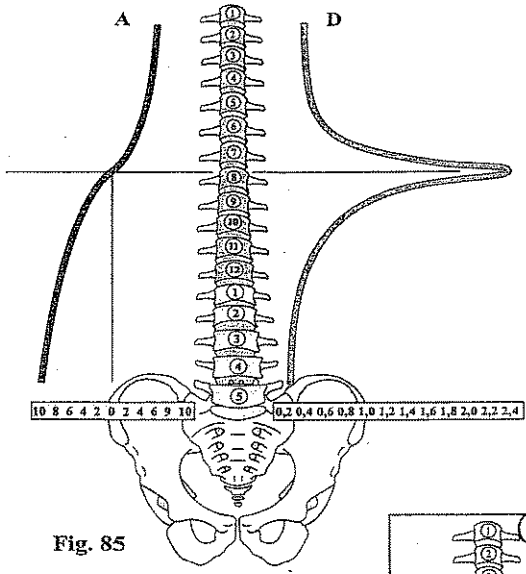


Fig. 85

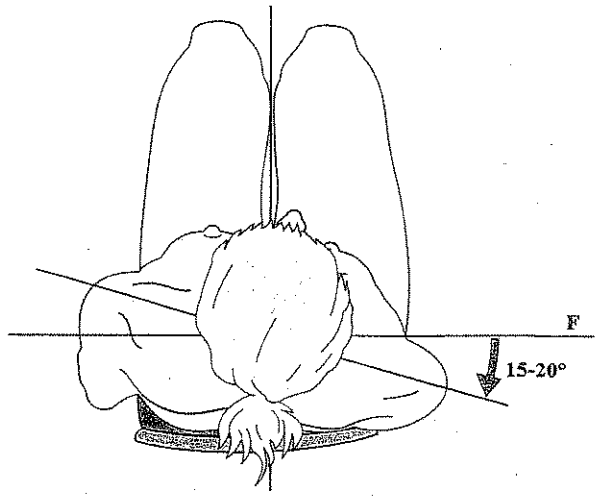


Fig. 87

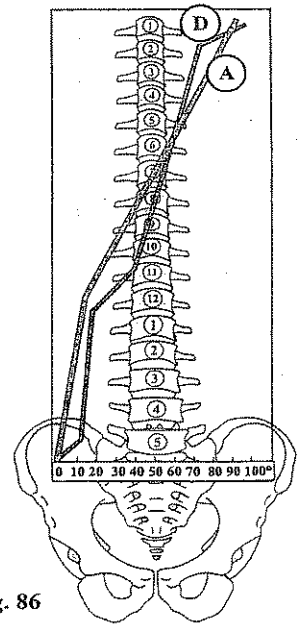


Fig. 86

El agujero de conjunción y el cuello radicular

Es imposible terminar este capítulo de anatomía funcional del raquis lumbar sin abordar unas cuantas nociones sobre la fisiopatología radicular muy abundante en este segmento raquídeo.
También son necesarias unas cuantas nociones de anatomía para comprender el mecanismo de las afecciones radiculares. Cada **nervio raquídeo (NR)** sale del canal vertebral por un **agujero de conjunción (Fig. 88)**. Este **agujero de conjunción 2** está limitado:

- por delante por **el contorno posterior del disco intervertebral 1** y la parte adyacente de los cuerpos vertebrales;
- por debajo, por **el pedículo de la vértebra subyacente 10**;
- por arriba, por **el pedículo de la vértebra suprayacente 11**;
- por detrás, por **las articulaciones cigapofisarias 9**, recubiertas por delante por su **cápsula 8** y el **borde lateral del ligamento amarillo 6**, que recubre la cápsula y avanza ligeramente sobre el agujero de conjunción, visible en la **figura 90**.

En el área del agujero de conjunción 2, el nervio raquídeo debe perforar el saco dural (**Fig. 89**): esta visión en perspectiva externa muestra como la **raíz raquídea 3**, localizada en principio en el interior del saco dural **14**, se aproxima a la pared medial del mismo **4** para perforarlo a nivel del **cuello radicular 5** que representa un punto fijo, punto de paso obligado del nervio raquídeo donde quedará sujeto por el saco dural.

Este saco dural es otra denominación en el canal raquídeo de la **duramadre**, la capa más externa y sólida del sistema nervioso.
En una **visión superior (Fig.90)**, se hallan de nuevo todos estos nexos entre el eje nervioso y el canal vertebral. La **médula espinal**, vista en corte con la **sustancia gris** en el centro y la **sustancia blanca** en la periferia, está rodeada por el **saco dural 4** y albergada en el **canal vertebral** tapizado:
por delante por el **ligamento longitudinal posterior 12**;
y por detrás por el **ligamento amarillo 7**.
Por delante del cuerpo vertebral, el **ligamento longitudinal anterior 13** puede observarse en corte. La cara anterior de las **articulaciones cigapofisarias 9** queda cubierta por una cápsula, reforzada por un **ligamento articular 8**, a su vez cubierto por una prolongación del **ligamento amarillo 6**. El **nervio raquídeo (NR)**, que reposa sobre el **pedículo de la vértebra inferior 10**, pasa de este modo por un **estrecho desfiladero** entre:

- el disco por delante, cubierto por el ligamento longitudinal posterior;
- y la articulación cigapofisaria por detrás, cubierta por una prolongación del ligamento amarillo.

En esta **zona del agujero de conjunción**, formada de elementos sólidos, y por lo tanto inextensibles, el nervio raquídeo puede verse amenazado y comprimido por una **hernia discal**.

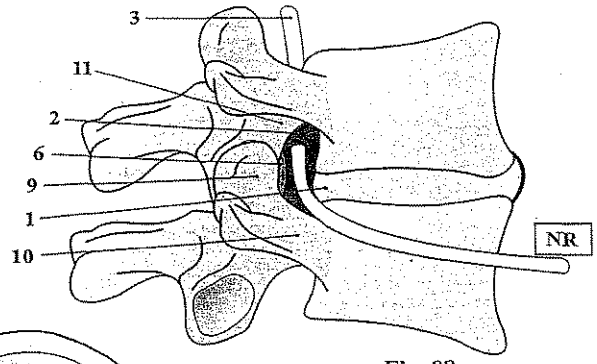


Fig. 88

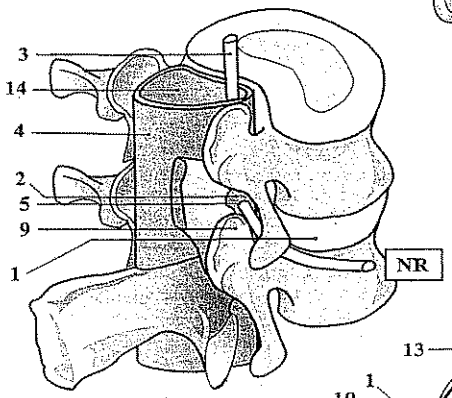


Fig. 89

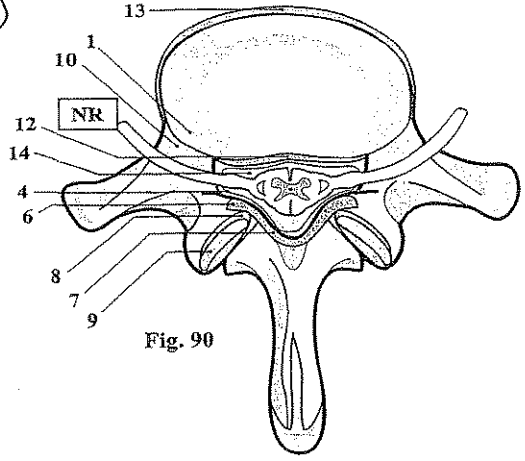


Fig. 90

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

Diferentes tipos de hernia discal

Bajo el efecto de la presión axial, la sustancia del núcleo pulposo puede fluir en distintas direcciones.
Si las fibras del anillo fibroso son todavía resistentes, la hiperpresión puede acarrear el **hundimiento de las mesetas vertebrales**. Se trata entonces de una **"hernia intraesponjosa" (Fig. 91)**.
Sin embargo, estudios recientes han demostrado que a partir de los 25 años, las fibras del anillo fibroso empiezan a degenerar, pudiéndose producir desgarros infrafasciculares entre sus diferentes capas. Entonces, bajo la presión axial, la **sustancia del núcleo podría pasar a través de las fibras del anillo fibroso (Fig. 92)**.
Estas fugas de sustancia nuclear pueden ser **concéntricas**, aunque a menudo, son **radiales**. Las fugas anteriores son las más raras. En cambio, las posteriores son muy frecuentes, sobre todo en **sentido posterolateral**.
De este modo, cuando el **disco se aplasta (Fig. 93)**, una parte de la sustancia nuclear se difunde ya sea hacia delante, ya sea hacia atrás, pudiendo así alcanzar el borde posterior del disco y aflorar **bajo el ligamento longitudinal posterior (Fig. 94)**.
A partir de la simple fisura **A**, en un primer momento, aún permaneciendo unida al núcleo pulposo, esta sustancia nuclear puede bloquearse debajo del ligamento longitudinal posterior **B**. En este caso, todavía es factible reintegrarla en su compartimento del núcleo mediante tracciones vertebrales. Pero, con frecuencia, **hunde el ligamento longitudinal posterior C** y puede incluso **quedar libre en el interior del canal vertebral**. Se trata de la hernia discal denominada "libre" **D**, migratoria.
En otros casos, queda **bloqueada bajo el ligamento longitudinal posterior E**, y las fibras del anillo fibroso se cierran entonces detrás de ella, impidiéndole toda posibilidad de retorno.
Y por último, otros casos en los que tras haber alcanzado la cara profunda del ligamento longitudinal posterior, la hernia puede deslizarse bien hacia arriba, bien hacia abajo **F**. Se trata entonces de una hernia migratoria subligamentosa.
Cuando la hernia discal alcanza la cara profunda del ligamento longitudinal posterior, tensa sus fibras nerviosas produciendo dolor lumbar o **lumbalgia**.
Ulteriormente, cuando la hernia comprime el nervio raquídeo es la causa de la **radiculalgia**, que dependiendo de la topografía del dolor, adquiere distintas denominaciones. Como ejemplo, puede citarse la radiculalgia en el territorio del nervio ciático denominada **ciatalgia**, denominación médica de la ciática. También se habla de **lumbociática**, ya que frecuentemente, al menos al inicio, el dolor radicular se acompaña de dolor lumbar.

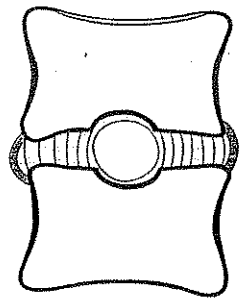


Fig. 91

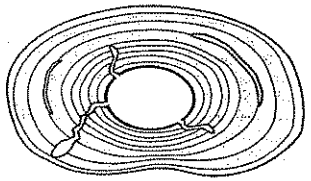


Fig. 92

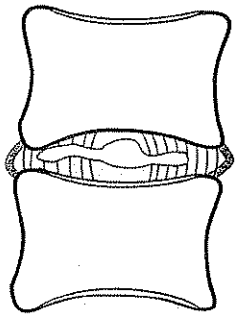


Fig. 93

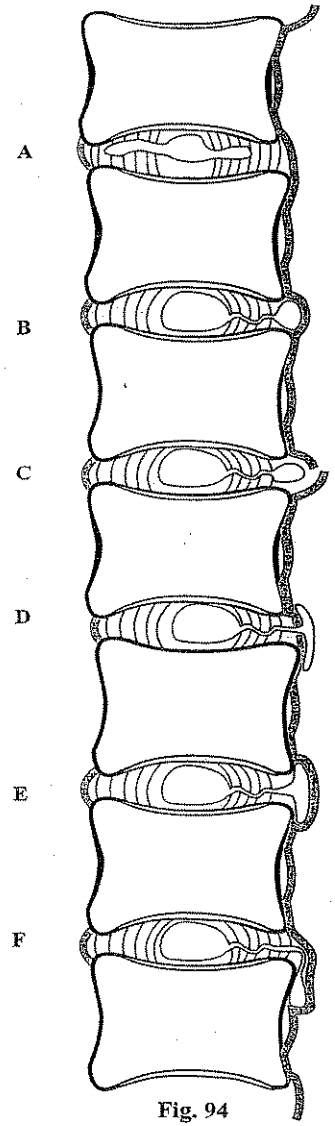


Fig. 94

Hernia discal y mecanismo de compresión radicular

Hoy parece fuera de toda duda que la **hernia discal se produce en tres tiempos** (*véase* **la Fig. 80, pág. 129**). Sin embargo, su aparición sólo es posible si previamente el disco ha resultado deteriorado por microtraumatismos repetidos y si, por otra parte, las fibras del anillo fibroso han empezado a degenerar. En general, la hernia discal aparece tras un esfuerzo de **levantamiento de una carga** con el tronco inclinado hacia delante.

- En el **primer tiempo** (**Fig. 95**), la flexión del tronco hacia delante disminuye la altura de los discos en su parte anterior y entreabre hacia atrás el espacio intervertebral. La sustancia nuclear se proyecta hacia atrás, a través de los desgarros preexistentes del anillo fibroso.
- En el **segundo tiempo** (**Fig. 96**), al iniciar el esfuerzo de levantamiento, el aumento de la presión axial aplasta la totalidad del disco intervertebral y desplaza violentamente hacia atrás la sustancia del núcleo pulposo, que de este modo alcanza la cara profunda del ligamento longitudinal posterior.
- En el **tercer tiempo** (**Fig. 97**), el enderezamiento del tronco ha finalizado prácticamente, el trayecto en zigzag por el que ha pasado el pedículo de la hernia discal se cierra de nuevo bajo la presión de las mesetas vertebrales y la **masa constituida por la hernia queda bloqueada bajo el ligamento longitudinal posterior**. Es en este preciso momento cuando sobreviene un **intenso dolor** en la región lumbar, frecuentemente denominado "**dolor de riñones**" y también **lumbago**, que corresponde al **primer tiempo de la lumbociatalgia**.

Este lumbago agudo inicial puede remitir ya sea espontáneamente, ya sea con tratamiento, pero si se producen episodios idénticos y repetidos, la hernia discal va a aumentar de volumen y se protruirá cada vez más hacia el conducto raquídeo, **entrando entonces en conflicto con uno de los nervios raquídeos**, una de las raíces del nervio ciático (**Fig. 98**).

Por eso, la hernia discal aparece generalmente en la parte posterolateral del disco, en el lugar donde el ligamento longitudinal posterior es menos grueso; desplazando progresivamente a la raíz del nervio ciático, hasta el momento en el que la pared posterior del agujero de conjunción la detiene, es decir, la articulación cigapofisaria recubierta por su cápsula, que a su vez está reforzada por un ligamento anterior y por la parte lateral del ligamento amarillo. A partir de este instante, la raíz comprimida va a manifestar su sufrimiento con la aparición de dolores **en el territorio de la misma** e incluso, posteriormente, trastornos de los reflejos, por ejemplo, abolición del reflejo aquíleo si se trata de la **compresión de la raíz de S1 y trastornos motores, en la ciática paralizante.**

Dependiendo del nivel en el que se produce la hernia discal y la compresión radicular, la sintomatología clínica será distinta (**Fig. 99**):

- la hernia discal se localiza en el segmento L4-L5 1, comprime la quinta raíz lumbar (L5) y la radiculalgia correspondiente afecta al siguiente territorio: **cara posterolateral del muslo y de la rodilla, cara lateral de la pantorrilla, cara dorsal lateral de la garganta del pie y cara dorsal del pie hasta el dedo gordo;**
- cuando la hernia discal se localiza en el segmento L5-S1 2, comprime la primera raíz sacra (**S1**) y la radiculalgia afectará a la siguiente topografía: **cara posterior del muslo, de la rodilla y de la pantorrilla, talón y borde lateral del pie hasta el quinto dedo.**

No obstante, es necesario puntualizar esta sistematización, ya que la hernia discal L4-L5 al hallarse más cerca de la línea media puede **comprimir simultáneamente L5 y S1 o incluso, a veces, solamente a S1**. Si la exploración quirúrgica se limita al espacio L5-S1 en razón de la topografía S1 de la radiculalgia, corre el riesgo de pasar por alto la lesión localizada en el segmento superior.

El corte sagital (**Fig. 99**) muestra que, en realidad, la **médula espinal se detiene a la altura del cono terminal** (**CT**), en la segunda vértebra lumbar. Por debajo del cono terminal, dentro del saco dural, sólo existen raíces que forman la "**cola de caballo**" y que salen de dos en dos por los agujeros de conjunción en cada nivel. El saco dural termina en forma de fondo de saco **D** en la tercera vértebra sacra. El plexo lumbar **PL**, constituido por L3-L4-L5, conforma el **nervio crural C**. El plexo sacro **PS**, compuesto por el **plexo lumbosacro LS** (L5 + una anastomosis de L4) asociado a S1-S2-S3, forma los nervios ciáticos mayor y menor NC.

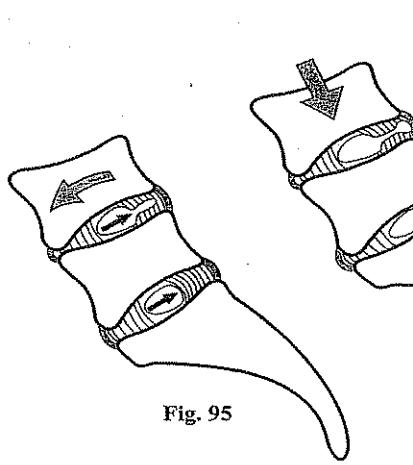


Fig. 95

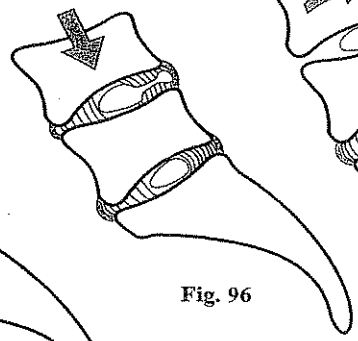


Fig. 96

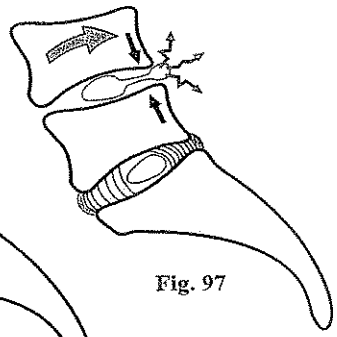


Fig. 97

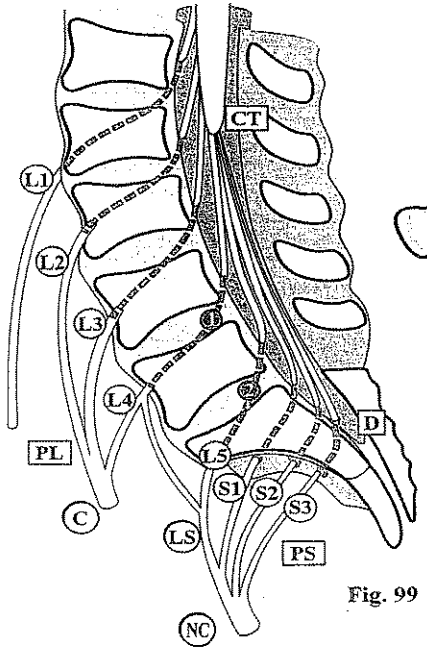


Fig. 99

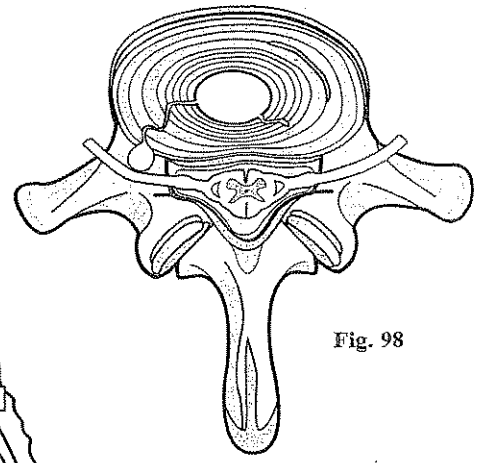


Fig. 98

El signo de Lasègue

El signo de Lasègue es un **dolor provocado al tensar el nervio ciático o una de sus raíces**. Se explora con el individuo en decúbito supino, elevando progresiva y lentamente el miembro inferior extendido. El dolor reproduce el dolor ciático que experimenta de manera espontánea el enfermo; es decir, en la topografía de la raíz afecta.

Los trabajos de Charnley han demostrado que **las raíces se deslizan libremente a través de los agujeros de conjunción** y que en el transcurso de la elevación del miembro inferior, con las rodillas extendidas, las raíces se desplazan fuera del agujero de conjunción en una longitud que puede alcanzar **12 mm** en el caso de la quinta raíz lumbar (**Fig. 100**).

He aquí cómo se puede interpretar el signo de Lasègue:

- cuando **el sujeto está en decúbito supino**, con los **miembros inferiores descansando sobre el plano de apoyo** (**Fig. 101**), el nervio ciático y sus raíces están perfectamente distendidos;
- cuando se **eleva el miembro inferior con las rodillas flexionadas** (**Fig. 102**), el nervio ciático y sus raíces todavía permanecen distendidos;
- pero si entonces se extiende la rodilla o bien se **eleva progresivamente el miembro inferior con la rodilla extendida** (**Fig. 103**), el nervio ciático se ve obligado a recorrer un trayecto más largo y en consecuencia está sometido a una tensión creciente.

En el individuo normal, las raíces se deslizan libremente por el agujero de conjunción y esta maniobra no es dolorosa, sólo **aparece dolor en la parte posterior del muslo al final de la elevación**, cuando el miembro inferior se aproxima a la vertical (**Fig. 104**), debido a la **tensión de los músculos isquiotibiales** en los sujetos que han perdido flexibilidad. Se trata de un falso signo de Lasègue.

Por el contrario, cuando una de las raíces queda bloqueada en el agujero de conjunción, o cuando debe recorrer un trayecto ligeramente más largo sobre la convexidad de una hernia discal, **una elevación moderada del miembro inferior provocará dolor al tensarlo**. Se trata del **verdadero signo de Lasègue** que, generalmente, aparece por debajo de los 60° de flexión; de hecho, por encima de los 60° ya no se trata del signo de Lasègue, puesto que la tensión del nervio ciático alcanza su **máximo a los 60°**.

Por lo tanto, el dolor ciático provocado puede aparecer en una elevación de 10°, 15° ó 20° del miembro inferior, lo que caracteriza un signo de Lasègue a 10, 15, 20 ó 30°, permitiendo dar una noción cuantitativa.

Es necesario subrayar un punto en particular: durante la elevación forzada del miembro inferior con la pierna extendida, **la fuerza de tracción sobre las raíces alcanza los 3 kg**. No obstante, la resistencia a la tracción de estas raíces es de 3,2 kg. Si una de ellas está bloqueada o relativamente acortada por una hernia discal, una **maniobra brusca** puede provocar **una ruptura de los axones en el interior de la raíz**, lo que se traduce en una **parálisis**, con frecuencia transitoria pero a veces lenta de regresión. De esto se derivan **dos precauciones**:

- por una parte, efectuar siempre la maniobra de Lasègue **con suavidad y con precaución**, y detener la elevación del miembro en cuanto aparezca dolor;
- por otra parte, **no realizar nunca esta maniobra bajo anestesia general**, ya que el dolor no puede indicar la interrupción del movimiento. Esto puede acaecer **al colocar al paciente para la operación de hernia discal**, cuando en decúbito supino se **flexionan las caderas dejando las rodillas extendidas**. El cirujano **debe colocar siempre personalmente a su paciente** y vigilar que **la flexión de caderas se acompañe simultáneamente de una flexión de rodillas**, distendiendo entonces el nervio ciático y preservando así la raíz bloqueada.

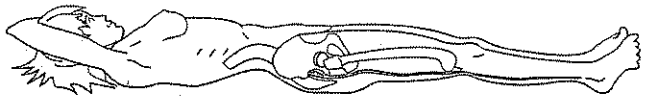


Fig. 101

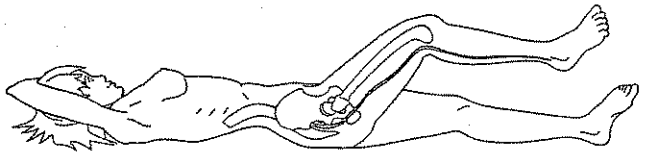


Fig. 102

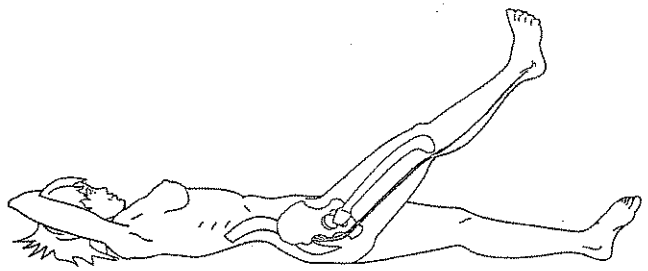


Fig. 103

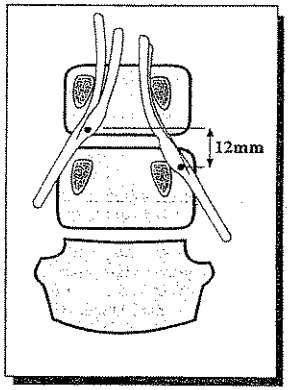


Fig. 100

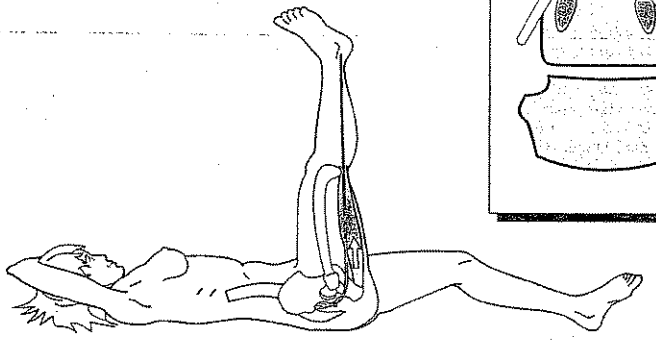


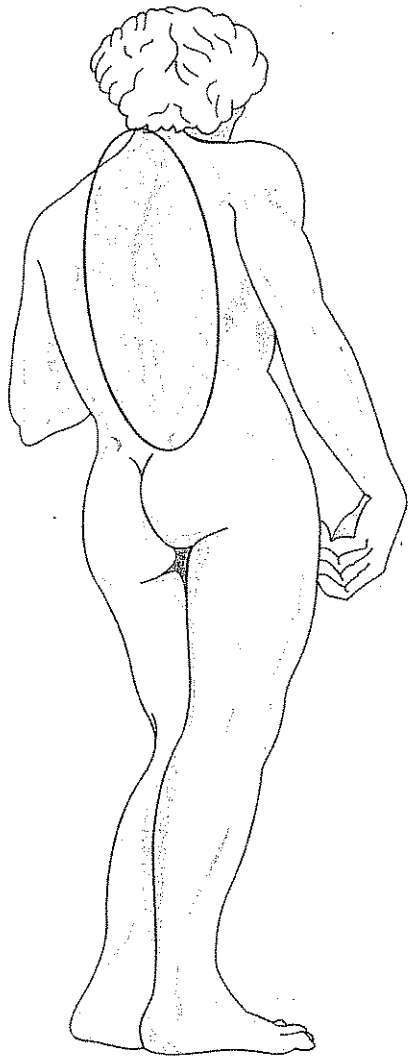
Fig. 104

Capítulo 4

EL RAQUIS TORÁCICO Y EL TÓRAX

El raquis torácico es el segmento raquídeo situado entre el raquis lumbar y el raquis cervical. Representa **el eje de la parte superior del tronco** y es el **soporte del tórax**. Este último, compuesto por 12 pares de costillas articuladas con las vértebras, y que forma un volumen de capacidad variable, dedicado a la **respiración** y ocupado por el **aparato cardiorrespiratorio**. A través de la caja torácica, el raquis torácico sujeta la **cintura escapular**, sobre la que se articulan los **miembros superiores**.

Contrariamente a las apariencias, el raquis torácico **es más móvil en el sentido de la rotación que el raquis lumbar**. Está **mucho menos afectado por las fuerzas** y su patología deriva esencialmente de las deformaciones adquiridas.



La vértebra torácica tipo y la duodécima vértebra torácica

La vértebra torácica tipo

La **vértebra torácica tipo** está compuesta por las mismas partes que la vértebra lumbar; no obstante existen grandes diferencias morfológicas y funcionales.

En una **visión "desarmada" (Fig. 1)**, se puede reconocer el **cuerpo vertebral 1** cuyo diámetro transversal es casi igual al diámetro anteroposterior. También es proporcionalmente más alto que el cuerpo de las vértebras lumbares; su contorno anterior y lateral está muy excavado.

En la parte posterolateral de las mesetas vertebrales se puede observar una **carilla oval 13**, tallada oblicuamente y recubierta de cartílago: se trata de la carilla articular costal que se tratará más adelante a propósito de las articulaciones costovertebrales (*véase* la pág. 150).

En la parte posterolateral del cuerpo vertebral se implantan los **dos pedículos 2 y 3**, la carilla articular costal superior sobrepasa con frecuencia la raíz del pedículo.

Por detrás del mismo se implantan las **láminas vertebrales 4 y 5** que constituyen la mayor parte de los arcos posteriores. Estas láminas son más altas que anchas y están inclinadas a modo de tejas; cerca del pedículo, su borde superior da origen a las **apófisis articulares superiores 6 y 11**, que poseen una carilla articular ovalada, plana o ligeramente convexa, recubierta transversalmente de cartílago, orientada hacia atrás, ligeramente hacia arriba y hacia fuera.

En la parte inferior de las láminas, siempre cerca del pedículo, se implantan las **apófisis articulares inferiores**, de las que sólo se puede apreciar aquí la **apófisis derecha 8**. Presentan en su cara anterior una carilla articular oval 7, plana o ligeramente cóncava, orientada transversalmente hacia delante y ligeramente hacia abajo y hacia dentro.

Estas carillas se articulan con las carillas superiores de la vértebra subyacente para formar la **articulación cigapofisaria**. En la unión de las láminas y los pedículos, en las apófisis articulares, se implantan las **apófisis transversas 9 y 11**; que se dirigen hacia fuera y ligeramente hacia atrás, y presentan un extremo libre abultado, que contiene en su cara anterior una carilla articular denominada **carilla costal 10** que corresponde a la tuberosidad costal. Las dos láminas se unen en la línea media y originan a una **apófisis espinosa 12**, voluminosa, larga y muy inclinada hacia abajo y hacia atrás, con un solo tubérculo en su vértice.

La asociación de todos estos elementos forma la **vértebra torácica tipo (Fig. 2)**. En esta figura las dos flechas rojas indican la orientación hacia detrás, hacia fuera y ligeramente hacia arriba de las carillas articulares de las apófisis articulares superiores.

La duodécima vértebra torácica

La última vértebra torácica o **duodécima vértebra torácica (Fig. 3)**, es una vértebra de transición con el raquis lumbar. Presenta algunas particularidades:

- en primer lugar, su cuerpo vertebral sólo posee **dos carillas costales** situadas en la parte posterolateral de la meseta superior, para la cabeza de la duodécima costilla;
- en segundo lugar, si las apófisis articulares superiores están orientadas **(flechas rojas)** como las de todas las vértebras torácicas, hacia atrás y ligeramente hacia arriba y hacia fuera, las carillas articulares inferiores deben corresponder a las carillas superiores de la primera vértebra lumbar. Por lo tanto, la dirección es la misma que la de las carillas inferiores de todas las vértebras lumbares **(flechas azules)**; es decir, orientadas hacia fuera y hacia delante y con una curva transversal ligeramente convexa que se inscribe en una misma superficie cilíndrica, cuyo eje se sitúa aproximadamente en el origen de la apófisis espinosa.

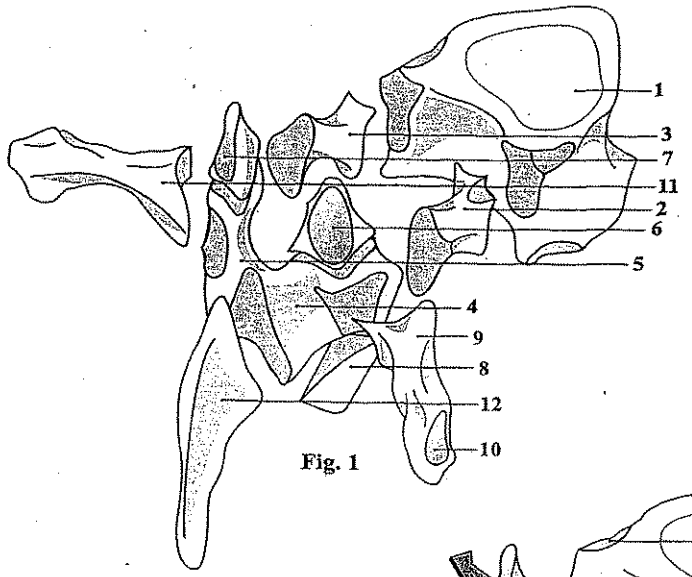


Fig. 1

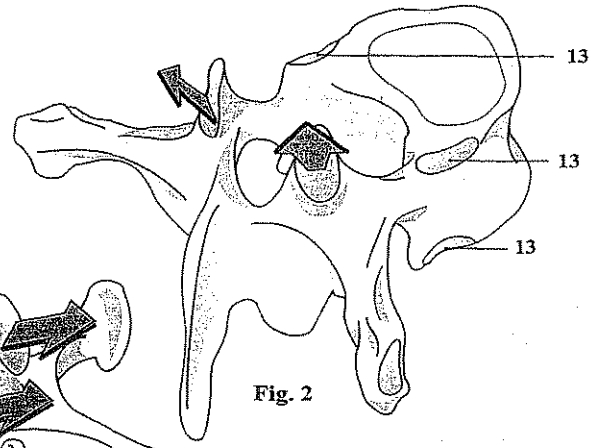


Fig. 2

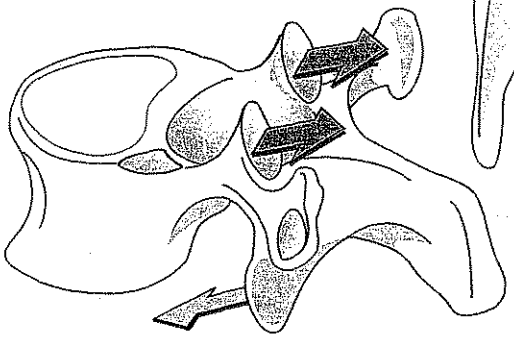


Fig. 3

Flexoextensión e inflexión lateral del raquis torácico

El movimiento de **extensión entre dos vértebras torácicas (Fig. 4)** se acompaña de una inclinación hacia atrás del cuerpo vertebral de la vértebra superior. Simultáneamente, el disco intervertebral se aplasta por atrás y se ensancha por delante lo que, como en el caso del raquis lumbar, proyecta el núcleo pulposo hacia delante. La limitación del movimiento de extensión viene determinada por **el tope de las apófisis articulares 1 y de las apófisis espinosas 2**, las cuales, muy inclinadas hacia abajo y hacia atrás, ya están practicamente en contacto. Por otra parte, el **ligamento longitudinal anterior 3** se tensa mientras que el **ligamento longitudinal posterior**, los **ligamentos amarillos** y los **ligamentos interespinosos** se distienden.

Por el contrario, el movimiento de **flexión entre dos vértebras torácicas (Fig. 5)** se acompaña de una apertura posterior del espacio intervertebral, con desplazamiento del núcleo hacia atrás. Las superficies articulares de las apófisis articulares se deslizan esta vez **hacia arriba**, y las apófisis inferiores de la vértebra superior tienden a **desbordar hacia arriba** las apófisis superiores de la vértebra inferior. El movimiento de flexión queda limitado por la tensión del **ligamento interespinoso 4**, de los **ligamentos amarillos y de las cápsulas de las articulaciones cigapofisarias 5**, y por la del **ligamento longitudinal posterior 6**. En cambio, el ligamento longitudinal anterior está distendido.

El movimiento de **inclinación** de dos vértebras torácias **(Fig. 6, visión posterior)** se acompaña de un **deslizamiento diferenciado** en las articulaciones cigapofisarias:

- en el lado de la convexidad, las carillas se deslizan como en la flexión, es decir, hacia arriba **(flecha roja)**;
- en el lado de la concavidad, las carillas se deslizan como en la extensión, es decir, hacia abajo **(flecha azul)**.

La línea de las apófisis transversas **mm'** forma con la línea de las apófisis transversas **nn'** de la vértebra subyacente, un **ángulo igual al ángulo de inclinación i.**

La limitación del movimiento viene determinada:

- por una parte, por el **tope óseo de las apófisis articulares** del lado de la concavidad y;
- por otra, por la **tensión de los ligamentos amarillo e intertransverso** del lado de la convexidad.

Sin embargo, sería un error considerar los movimientos del raquis torácico únicamente a nivel de las vértebras mismas; de hecho, el raquis torácico está articulado con la **caja torácica (Fig. 7)** y todos los elementos óseos, cartilaginosos y articulares de la citada caja torácica intervienen para dirigir y limitar los movimientos aislados del raquis. Tanto es así, que en el cadáver se puede comprobar que **el raquis torácico aislado tiene mayor movilidad** que cuando va unido a la caja torácica. Por lo tanto, es necesario estudiar las **repercusiones en el tórax** de los movimientos que tienen lugar en el raquis torácico:

- durante **la inflexión lateral del raquis torácico (Fig. 8)**, en el lado de la convexidad raquídea, el tórax **se eleva 1**, los espacios intercostales **se ensanchan 3**, el tórax **se dilata 5** y el ángulo condrocostal de la décima costilla tiende **a abrirse 7**. En el lado de la concavidad de la curva raquídea, se observan los fenómenos inversos: el tórax **desciende 2** y **se retrae 6**, mientras que los espacios intercostales **se reducen 4** y **se cierra el ángulo condrocostal 8**;
- durante **el movimiento de flexión del raquis torácico (Fig. 9)**, se abren todos los ángulos que articulan los distintos segmentos del tórax entre sí y con el raquis: **ángulo costorraquídeo 1**, **ángulo esternocostal superior 2 e inferior 3** y **ángulo condrocostal 4**. Por el contrario, durante el movimiento de extensión todos estos ángulos se cierran.

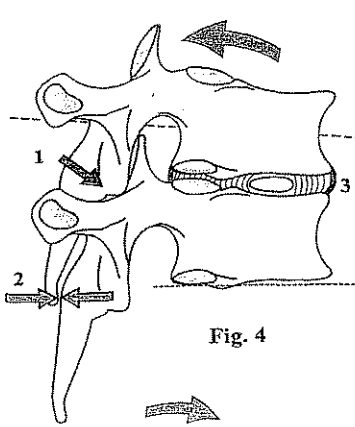


Fig. 4

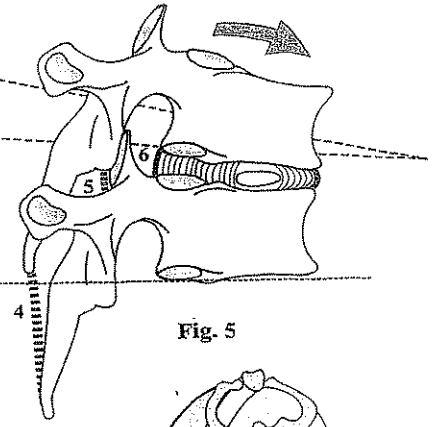


Fig. 5

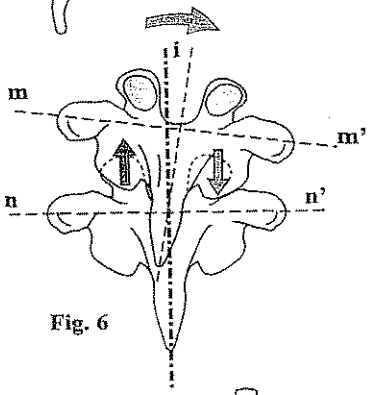


Fig. 6

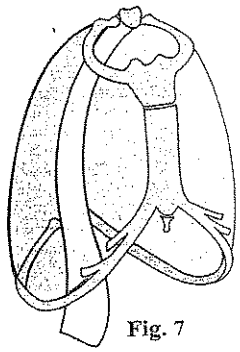


Fig. 7

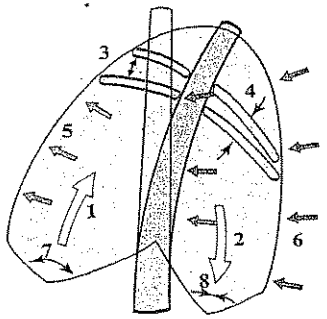


Fig. 8

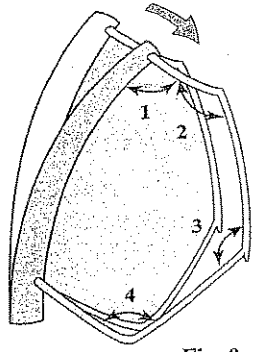


Fig. 9

Rotación axial del raquis torácico

¿Cómo se efectúa la rotación elemental de una vértebra sobre otra en el raquis torácico? Difiere bastante de la rotación en el raquis lumbar. De hecho, **en una visión superior (Fig. 10)**, las articulaciones cigapofisarias tienen una orientación totalmente distinta. La interlínea también está incluida en una superficie cilíndrica (**círculo punteado**), pero el eje de este cilindro se sitúa aproximadamente en el centro de los cuerpos vertebrales (O).

Durante la rotación de una vértebra sobre otra, el deslizamiento de las superficies en las apófisis articulares se acompaña de una rotación de un cuerpo vertebral sobre otro sobre su eje común; por tanto, de una rotación-torsión del disco intervertebral y no de un cizallamiento como es el caso en el raquis lumbar. La **rotación-torsión del disco intervertebral** puede tener una amplitud más grande que su cizallamiento: la rotación elemental entre dos vértebras dorsales es, **al menos, tres veces mayor** que entre dos vértebras lumbares.

Sin embargo, esta rotación sería todavía mayor si la columna torácica no estuviese estrechamente unida al tórax óseo. De hecho, cada segmento vertebral **arrastra el par de costillas correspondiente (Fig. 11)**, pero el deslizamiento de un par de costillas sobre el par subyacente está limitado **por el esternón**, al cual se articulan todas las costillas mediante cartílagos costales.

La rotación de una vértebra se va a acompañar pues de una deformación del par de costillas asociadas a la misma **gracias a la elasticidad costal y, sobre todo de los cartílagos.** Las citadas deformaciones son las siguientes:

- **acentuación de la concavidad costal en el lado de la rotación 1 y disminución** de la concavidad costal **en el lado opuesto 2;**
- **acentuación de la concavidad condrocostal en el lado opuesto a la rotación 3 y disminución** de la concavidad condrocostal **en el lado de la rotación 4.**

Por consiguiente, en el transcurso de este movimiento, **el esternón está sometido a fuerzas de cizallamiento** y tiende a dirigirse oblicuamente de arriba abajo para seguir la rotación de los cuerpos vertebrales. No obstante, esta oblicuidad no debe ser demasiado pronunciada y es prácticamente inapreciable en la observación clínica; radiológicamente también es muy difícil ponerla de manifiesto debido a las superposiciones.

La resistencia mecánica del tórax interviene, pues, para limitar de manera considerable la amplitud de los movimientos del raquis torácico; mientras el tórax sea flexible, como es el caso de los jóvenes, los movimientos del raquis torácico son muy amplios y, en cambio, cuando con la edad los cartílagos costales se osifican y disminuye la elasticidad condrocostal, **el tórax constituye un bloque casi rígido,** con **amplitudes que disminuyen proporcionalmente.**

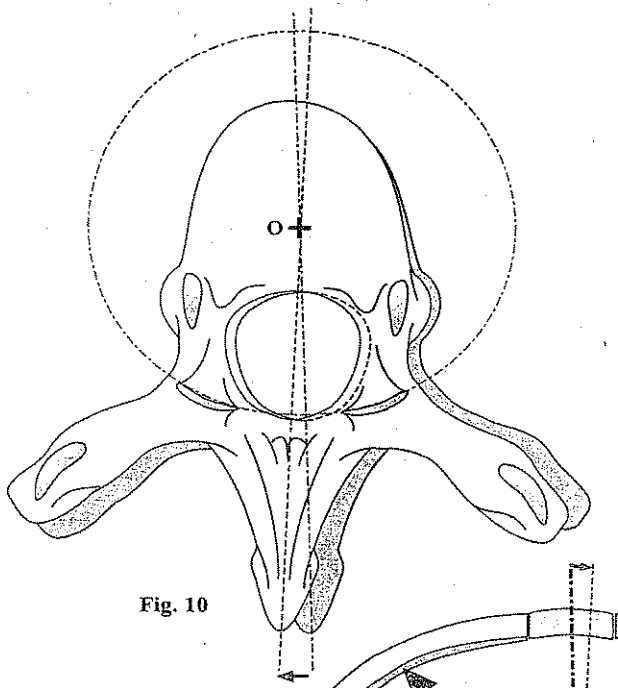


Fig. 10

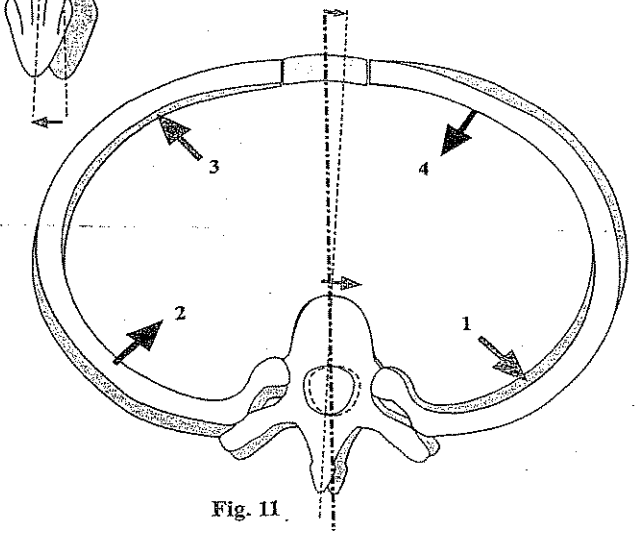


Fig. 11

Las articulaciones costovertebrales

En cada segmento del raquis torácico, un par de costillas se articula con las vértebras mediante dos articulaciones por costilla:

- la **articulación costovertebral** entre la cabeza costal y el disco intervertebral y los cuerpos vertebrales;
- y **la articulación costotransversa** entre la tuberosidad costal y la apófisis transversa de la vértebra subyacente.

En **una visión de perfil (Fig. 12)**, se ha separado una de las costillas tras haber seccionado los distintos ligamentos, permitiendo así observar las superficies articulares del lado vertebral. En el segmento inferior, la costilla permanece en su sitio con sus ligamentos.

En **una visión superior (Fig. 13)**, la costilla del lado derecho permanece en su sitio, aunque se han abierto las articulaciones; en el lado izquierdo se ha separado la costilla tras seccionar sus ligamentos.

El **corte verticofrontal (Fig. 14)** pasa por la articulación entre la cabeza costal y los cuerpos vertebrales. En el lado opuesto se ha separado la costilla tras sección ligamentosa.

Se van a describir los elementos de manera simultánea en las tres figuras, cuyos números de referencia son comunes.

La articulación costovertebral es una doble artrodia. Está constituida en el lado vertebral por dos carillas costales, una en el **borde superior de la vértebra inferior 5**, y la otra en el borde inferior de la vértebra superior 6. Forman entre sí un ángulo diedro (**línea a trazos rojos**) perfectamente visible en el corte (**Fig. 14**), cuyo fondo está ocupado por el anillo fibroso 2 del disco intervertebral. Las superficies correspondientes **11** y **12** de la cabeza costal **10** son ligeramente convexas y forman entre sí el mismo ángulo diedro que encaja con exactitud en el de las carillas vertebrales.

Un **ligamento interóseo 8**, que se origina en el vértice de la cabeza costal entre las dos carillas articulares, se fija en el disco intervertebral y separa esta articulación, recubierta por una **cápsula articular única 9**, en dos cavidades articulares distintas, una superior y una inferior **13**.

La articulación costovertebral está reforzada por un **ligamento radiado** en el que se distinguen tres haces:

- un **haz superior 14** y **un haz inferior 15**, que se insertan en el cuerpo de las vértebras adyacentes;
- y **un haz medio 16**, que se inserta en el **anillo fibroso 2** del disco intervertebral.

La articulación costotransversa también es una artrodia constituida por dos carillas ovaladas, una en el **vértice de la apófisis transversa 18**, y la otra en la **tuberosidad costal 19**. Esta articulación se completa con una **cápsula 20**, pero, sobre todo, la refuerzan **tres ligamentos costotransversos**:

- el ligamento **costotransverso interóseo 23**, muy corto y resistente, que se extiende desde la apófisis transversa a la cara posterior del cuello de la costilla;
- el ligamento **costotransveso posterior 21**, cintilla rectangular de 1,5 cm de longitud por 1 cm de anchura, que se extiende desde el vértice 22 de la apófisis transversa a la parte lateral de la tuberosidad costal;
- el ligamento **costotransverso superior 24**, muy grueso, muy resistente, plano y cuadrilátero, de 10 mm de longitud por 8 mm de anchura, que se extiende desde el borde inferior de la apófisis transversa al borde superior del cuello de la costilla subyacente.

Además, se describe un **ligamento costotransverso inferior** que ocupa la cara inferior de la articulación costotransversa (sin representar).

En estas figuras también se pueden distinguir los detalles del disco intervertebral con el **núcleo pulposo 1** y el **anillo fibroso 2**, el **canal vertebral C**, el **agujero de conjunción AC**, el **pédiculo vertebral 7**, las **articulaciones cigapofisarias** con sus **carillas articulares 3**, y **sus cápsulas 4**, y la **apófisis espinosa 7**.

Resumiendo, la costilla se articula con el raquis mediante **dos artrodias:**

- una **artrodia simple**, la articulación costotransversa;
- y **una artrodia doble** encajada de forma más sólida, la articulación costovertebral.

Estas dos articulaciones están dotadas de potentes ligamentos y no pueden funcionar la una sin la otra: están **mecánicamente unidas.**

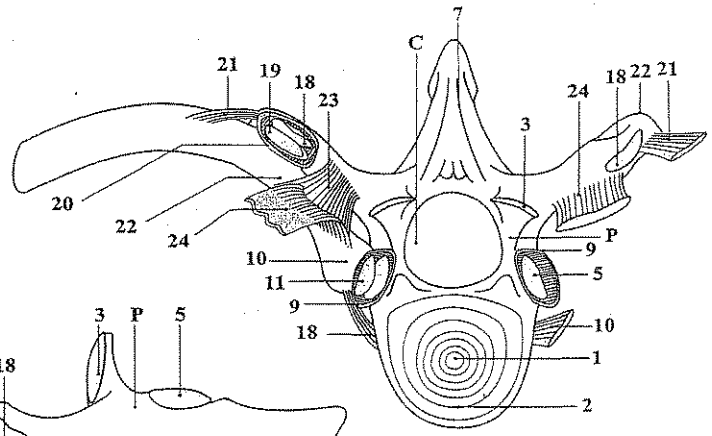


Fig. 13

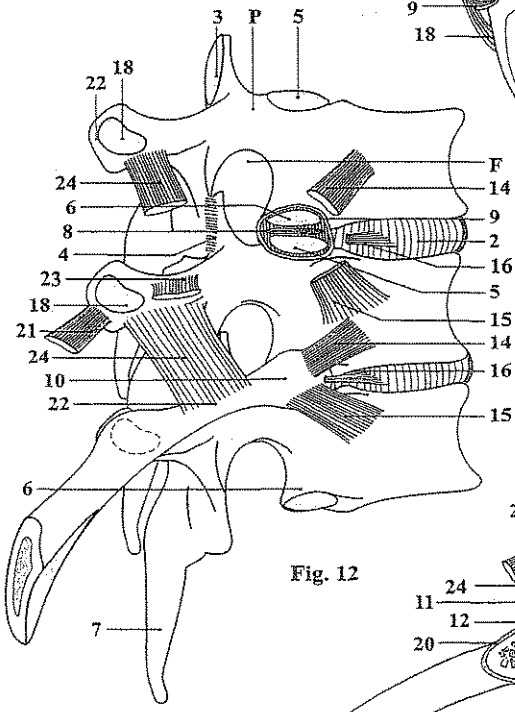


Fig. 12

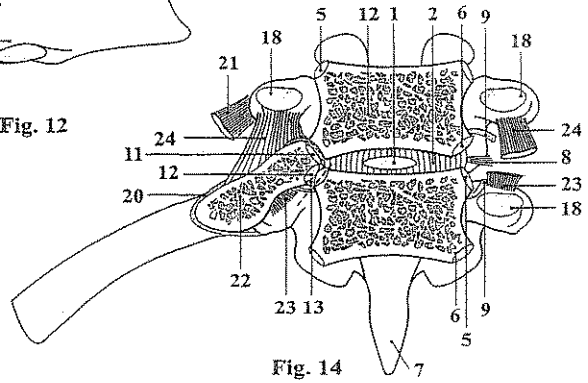


Fig. 14

Las leyendas son comunes en todas las figuras.

Movimientos de las costillas en torno a las articulaciones costovertebrales

La articulación costovertebral, por una parte, y la articulación costotransversa, por otra, forman un par de **artrodias mecánicamente unidas (Fig. 15)**, cuyo movimiento común no puede ser más que una rotación en torno a un eje que pase por el centro de cada una de estas dos artrodias. Así, se puede describir un eje xx' que une el centro o' de la articulación costotransversa al centro o de la articulación costovertebral. Le sirve de **charnela** a la costilla que, de este modo, queda **literalmente suspendida** del raquis por dos puntos o y o'.

La orientación de este eje respecto al plano sagital determina la dirección del movimiento costal. En las **costillas inferiores (lado inferior izquierdo)** el eje xx' se aproxima al plano sagital y, en consecuencia, el movimiento de elevación de la costilla conlleva, sobre todo, un **aumento del diámetro transversal del tórax t**. De hecho (**Fig. 17**), cuando la costilla gira en torno a este eje o' (**Fig. 16**), describe un arco de círculo de centro o'; su oblicuidad disminuye, y, al hacerse más transversal, su punto más lateral queda desplazado **hacia fuera una longitud t**, que representa el aumento del **semidiámetro transversal de la base del tórax.**

Por el contrario, las **costillas superiores (Fig. 15: lado superior derecho)** se articulan a través de un eje yy' situado casi en un plano frontal. El movimiento de elevación de la costilla conlleva entonces **un aumento bastante acentuado del diámetro anteroposterior del tórax zona ap.**

En efecto (**Fig. 17**), **cuando el extremo anterior de la costilla se eleva una altura a**, describe un arco de círculo que le desplaza hacia delante una longitud l.

Por lo tanto, se puede **concluir** que durante la elevación de las costillas se produce **un aumento del diámetro transversal del tórax inferior** y un **aumento del diámetro anteroposterior del tórax superior**. En la parte media del tórax en la que el eje de las articulaciones costovertebrales se localiza aproximadamente en una **dirección oblicua a 45°**, el aumento del diámetro se **produce tanto en sentido transversal como en sentido anteroposterior.**

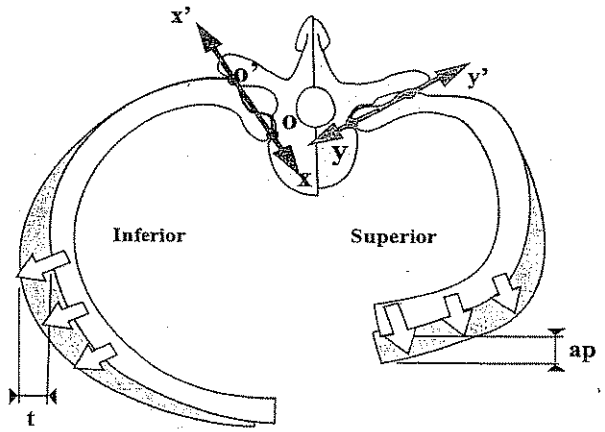


Fig. 15

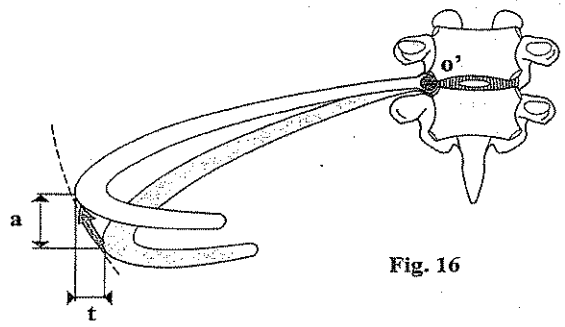


Fig. 16

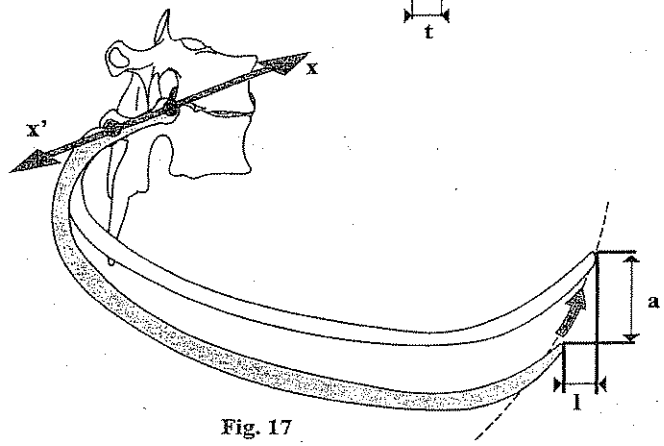


Fig. 17

Movimientos de los cartílagos costales y del esternón

Hasta el momento se ha considerado únicamente el movimiento de las costillas en torno a las articulaciones costovertebral y costotransversa, pero también se deben tener en cuenta los **movimientos de las costillas con respecto al esternón y a los cartílagos costales.**

Si se compara una **visión superior** del movimiento de las costillas (**Fig. 18**) con una **visión anterior** de este mismo movimiento (**Fig. 19**), se puede constatar que, mientras que la parte más lateral de la costilla **se eleva una altura a'** y se separa del eje del cuerpo una longitud **l**, el extremo anterior de la costilla **se eleva una altura a** y se separa del plano de simetría una longitud **l'**, siendo estas dos últimas longitudes ligeramente mayores que las dos primeras.

Simultáneamente, el esternón se eleva y el **cartílago costal toma una dirección más horizontal** formando **un ángulo zona ag** con su posición inicial.

Este movimiento angular del cartílago costal con respecto al esternón se lleva a cabo en la **articulación condroesternal**. Además, al mismo tiempo, se produce otro movimiento angular en la articulación condrocostal. Más adelante se hablará de ello (*véase* la pág. 178).

Durante la **elevación de la costilla (Fig. 18, lado derecho)**, el punto **m** en el que se produce el mayor aumento de volumen del diámetro torácico, es el más alejado del eje yy'. Esta constatación geométrica explica el desplazamiento del citado punto sobre la costilla cuando la oblicuidad del eje xx' varía.

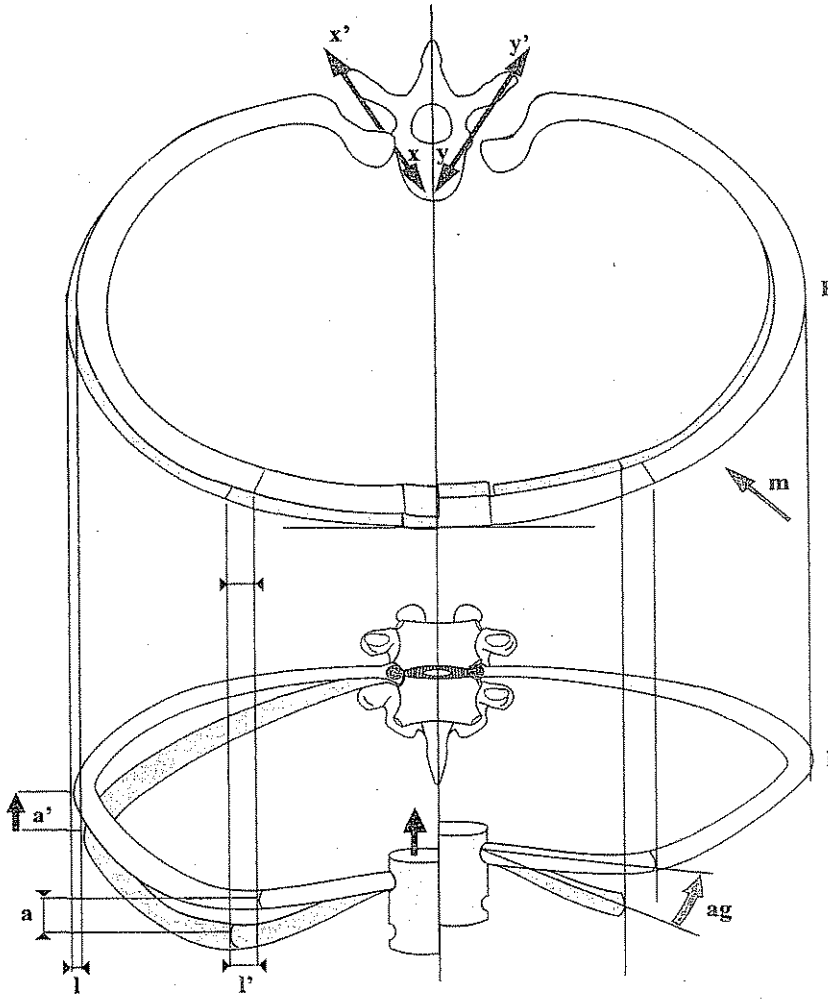


Fig. 18

Fig. 19

Las deformaciones del tórax en el plano sagital durante la inspiración

Si se imagina el raquis inmutable, sin deformación alguna, durante el movimiento de inspiración y considerando que el **pentágono deformable** está compuesto, por una parte, por el **raquis (Fig. 20)** y, por otra, por la primera costilla, el esternón, la décima costilla y su cartílago costal, el movimiento de inspiración determina las siguientes deformaciones:

- la **primera costilla** móvil alrededor de su articulación costovertebral O se eleva **(flecha azul)** y su extremo anterior describe un **arco de círculo AA'**;
- esta elevación de la primera costilla produce una **elevación del esternón**, el cual pasa de la **posición AB a la posición A'B'**;
- en este movimiento, el esternón no está exactamente paralelo a sí mismo, ya que, como se ha podido ver con anterioridad, en la parte superior del tórax el diámetro anteroposterior aumentaba más que en la parte inferior. De ello se deduce que el ángulo a que formaba con la vertical se **cierra** ligeramente y simultáneamente se puede observar como se cierra también ligeramente el ángulo **OA'B'** entre la primera costilla y el esternón. Este cierre del ángulo esternocostal se acompaña de una rotación longitudinal, de **una torsión del cartílago costal** (*véase la* pág. 178);
- en cuanto a la **décima costilla**, también efectúa un movimiento de elevación en torno a su centro **Q** y su extremo anterior describe un **arco de círculo CC'**;
- en este movimiento de la décima costilla y del esternón, el **décimo cartílago costal pasa de la posición CB a la posición C'B'** permaneciendo aproximadamente paralelo a sí mismo. Esto determina, por una parte, el **aumento del ángulo en C'** de un valor equivalente al **ángulo c**, igual al ángulo de elevación de la décima costilla **(sector verde)**. Por otra parte, se produce una ligera apertura del ángulo entre el décimo cartílago costal y el esternón **(ángulo C'B'A')**. También en este caso, la apertura del ángulo se lleva a cabo gracias a una rotación del cartílago sobre su eje longitudinal, es decir, **una torsión. Una torsión idéntica se produce en cada cartílago costal**. Más adelante se analizará su utilidad a propósito de la elasticidad del tórax (*véase la* pág. 178).

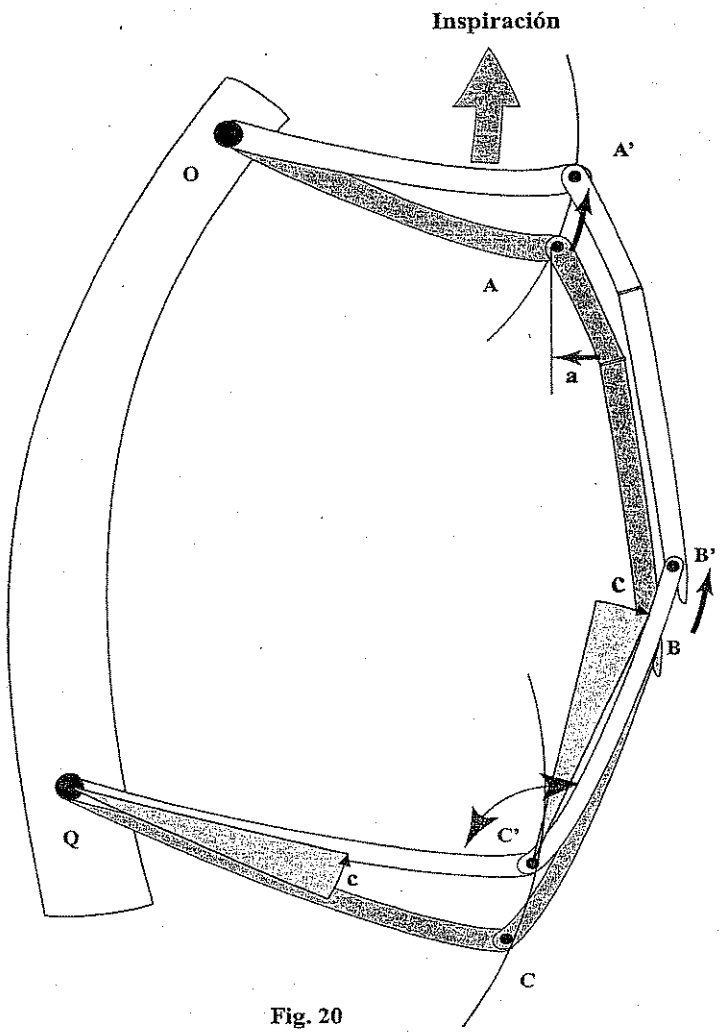


Fig. 20

Mecanismo de los músculos intercostales y del músculo transverso del tórax

Músculos intercostales

En una **visión posterior del tórax y del raquis (Fig. 21)** se puede constatar la existencia de **tres tipos de fibras musculares**:

- los **pequeños músculos elevadores de las costillas (EC)**, que, procedentes del vértice de la apófisis transversa finalizan en el borde superior de la costilla subyacente. Cuando se contraen, elevan esta costilla, de ahí su nombre;
- los **músculos intercostales externos (E)** cuyas fibras oblicuas hacia arriba y hacia dentro tienen una dirección paralela a las de las fibras del músculo supracostal. Estos músculos intercostales externos son, como el supracostal, elevadores de las costillas y por lo tanto, **inspiradores**;
- los **músculos intercostales internos (I)**, cuyas fibras son oblicuas hacia arriba y hacia fuera, producen el descenso de las costillas y por lo tanto, la **espiración**.

El esquema de **Hamberger (Figs. 22 y 23)** explica perfectamente el mecanismo de acción de los músculos intercostales:

la acción de los **músculos intercostales externos (Fig. 22)** se entiende cuando se constata que la dirección de sus fibras es la de la gran diagonal del paralelogramo $OO'B_1A_1$ que forman las costillas articuladas con el raquis y el esternón. Cuando el músculo intercostal externo (E) se contrae, esta diagonal disminuye una longitud r, deformando el paralelogramo y, suponiendo que **OO'** permanezca fijo, produce la rotación de A_1 en A_2 y de B_1 en B_2: la contracción del músculo intercostal externo acarrea una elevación de las costillas y por lo tanto, se trata de **un músculo inspirador**;

- la acción de los músculos **intercostales internos (Fig. 23)**, se entiende de manera análoga, pero, esta vez, el músculo tiene una dirección paralela a la pequeña diagonal del paralelogramo. Cuando el músculo intercostal interno se contrae (I), esta diagonal $O'A_1$ disminuye una longitud **r'**, lo que va a llevar a A_1 hasta A_2 y a B_1 hasta B_2 siempre en el supuesto de que el lado **OO'** permanezca inmutable. La contracción del músculo intercostal interno produce el descenso de las costillas y por lo tanto, se trata de un **músculo espirador**.

Al parecer, este esquema de Hamberger, a pesar de haber sido contradicho por los experimentos de excitación eléctrica de Duchenne de Boulgne, se **considera válido** en la actualidad gracias a los trabajos electromiográficos.

El músculo transverso del tórax

El músculo transverso del tórax es un músculo generalmente poco estudiado, y al que se tiende a olvidar por su **localización retroesternal (Fig. 24)**. De hecho, está totalmente situado en la cara posterior del esternón y sus fibras, que se insertan en los cartílagos de la segunda a la sexta costillas, son oblicuas hacia abajo y hacia dentro. La contracción de sus cinco haces determina el descenso, en relación al esternón, de los cartílagos costales correspondientes. No obstante, se ha podido constatar **(véase la Fig. 19 pág. 155)**, que durante la inspiración el cartílago costal se eleva y que, a la inversa, desciende durante la espiración. Esto permite deducir que el músculo **transverso del tórax es un músculo espirador.**

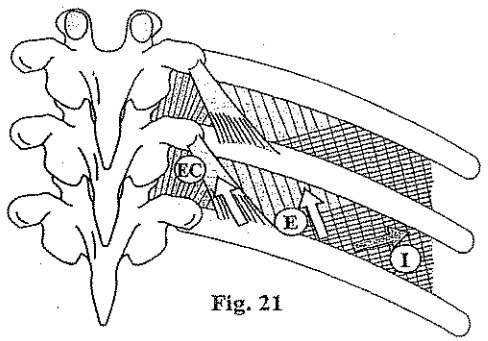


Fig. 21

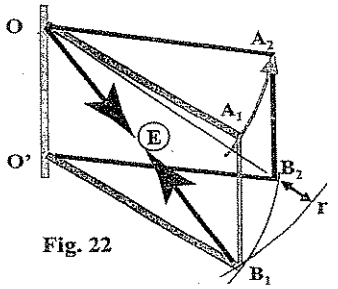


Fig. 22

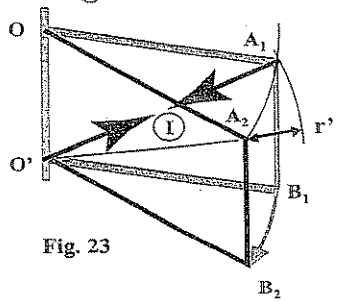


Fig. 23

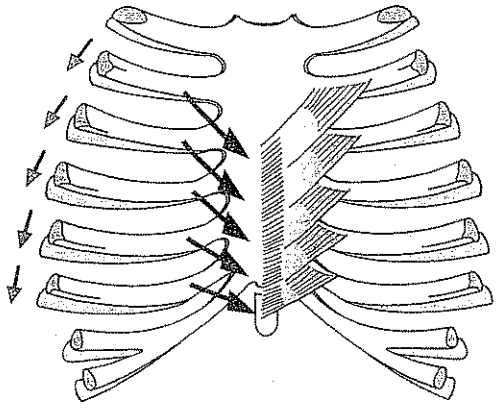


Fig. 24

El diafragma y su mecanismo

El diafragma forma una **cúpula músculo-aponeurótica** que cierra el orificio inferior del tórax y separa el tórax del abdomen.

Una **visión de perfil (Fig. 25)**, muestra como esta cúpula desciende más abajo por detrás que por delante y su punto más elevado lo constituye el **centro frénico 1**. En este centro se originan **haces de fibras musculares 2** que se dirigen radialmente hacia el contorno del orificio inferior del tórax y se insertan en la cara medial de los cartílagos costales, en los extremos de las undécima y duodécima costillas, en los arcos que unen los extremos de las tres últimas costillas y, por último, en el raquis, a la altura de los cuerpos vertebrales, mediante **unos pilares: pilar izquierdo 3 y pilar derecho 4**, en las **arcadas del músculo psoas mayor 7** y del **músculo cuadrado lumbar 8**.

Esto se puede apreciar mucho mejor en **una visión anterior (Fig. 26)**, donde se distinguen a la vez la cara convexa del diafragma, en la parte superior de la figura, y su cara **cóncava** a la altura de los pilares. También se pueden distinguir los **orificios** por donde pasan el **esófago 6** por arriba, y **la aorta 5** por abajo. Sin embargo, en estas figuras no ha sido representado el orificio de la vena cava inferior por deseo de simplificación.

Cuando las fibras musculares del diafragma se contraen, el centro frénico desciende: de este modo el diámetro vertical del tórax se ensancha, pudiéndose comparar el diafragma a un émbolo que se desliza en el interior de una bomba.

Sin embargo, la **puesta en tensión de los elementos del mediastino** y, sobre todo, la presencia de la **masa de las vísceras abdominales** limitan este descenso del centro frénico. A partir de este instante **(Fig. 27)**, el centro frénico se convierte en **punto fijo (flecha blanca grande)** y las fibras musculares, que actúan a partir de la periferia del centro frénico **(doble flecha blanca pequeña)**, pasan a ser las que **elevan las costillas inferiores**. De hecho, si se considera **el punto P como fijo** y la **costilla que gira alrededor del centro O**, su extremo describirá un **arco de círculo AB** mientras que la fibra muscular correspondiente se va a acortar una distancia **A'B**. Al elevar las costillas inferiores, el diafragma ensancha el diámetro transversal del tórax inferior, pero, simultáneamente, a través del esternón, eleva también las costillas superiores y, en consecuencia, ensancha el diámetro anteroposterior.

Se puede entonces afirmar que el diafragma **es un músculo primordial de la respiración**, ya que, por sí solo, ensancha los tres diámetros del volumen torácico:

- **ensanchamiento del diámetro vertical** por descenso del centro frénico;
- **ensanchamiento del diámetro transversal** por elevación de las costillas inferiores;
- **ensanchamiento del diámetro anteroposterior** por elevación de las costillas superiores mediante el esternón.

Se comprende así, **la importancia del diafragma en la fisiología de la respiración**.

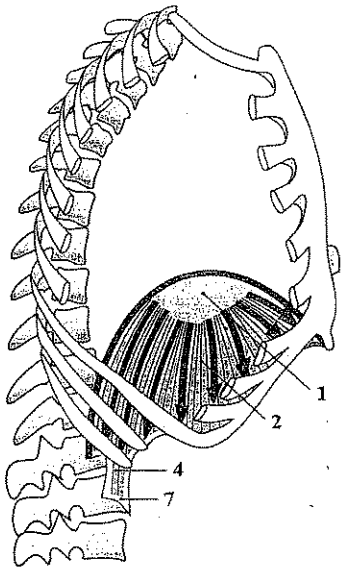


Fig. 25

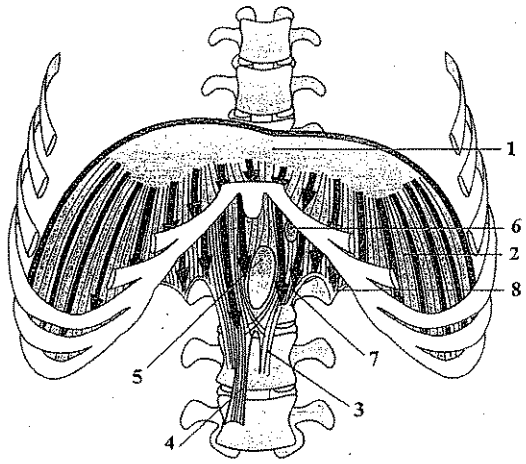


Fig. 26

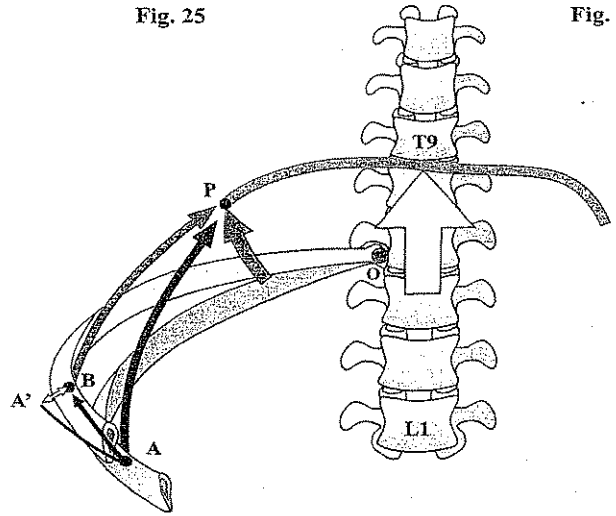


Fig. 27

Los músculos de la respiración

Tras lo expuesto, se deduce que los músculos de la respiración se pueden clasificar en **dos categorías**:

- por una parte, los **músculos de la inspiración**, que elevan las costillas y el esternón;
- y por otra, los **músculos de la espiración**, que descienden las costillas y el esternón. En estas dos categorías se distinguen, además, dos grupos, los **músculos principales** y los **músculos accesorios**, si bien estos últimos sólo actúan durante **movimientos anormalmente amplios o potentes**.

Se puede pues, distribuir los músculos de la respiración en **cuatro grupos**:

Primer grupo

El primer grupo es el de los músculos **principales de la inspiración.** Son los músculos **intercostales externos** y los **músculos elevadores de las costillas** y, sobre todo, el **diafragma.**

Segundo grupo

El segundo grupo es el de los músculos **accesorios de la inspiración (Figs. 28, 29 y 30)**. Está constituido por:

- los músculos esternocleidomastoideos **1**, los músculos escalenos anteriores **2**, medios **3** y posteriores **4**; todos estos músculos no son inspiradores más que cuando toman como punto fijo el raquis cervical rígido por la acción de otros músculos **(Fig. 28)**;
- el músculo pectoral mayor **4** y el músculo pectoral menor **5**, cuando estos dos músculos **(Fig. 30**: inspirada de la Edad de bronce de Rodin) toman como punto fijo la cintura escapular y los miembros superiores en abducción;
- los haces inferiores del músculo serrato anterior **6** y el músculo dorsal ancho **10** cuando éste toma como punto fijo **(Fig. 29)** los miembros superiores previamente abducidos;
- el músculo serrato posterosuperior **11**;
- las fibras superiores del músculo iliocostal torácico **12**, que toman como punto fijo por arriba las cinco últimas transversas cervicales y se insertan por abajo en los seis primeros arcos costales, con lo que, de este modo, tienen una disposición semejante a la de los músculos elevadores de las costillas de gran longitud.

Tercer grupo

El tercer grupo es el de los **músculos principales de la espiración.** Este grupo sólo está representado por los **músculos intercostales internos**. En efecto, la espiración normal es un fenómeno puramente pasivo de retorno del tórax sobre sí mismo por simple elasticidad de los elementos osteocartilaginosos y del parénquima pulmonar. Por lo tanto, la energía necesaria para la espiración es, en realidad, una **restitución de la energía** desarrollada en la inspiración por los músculos inspiradores y que está almacenada a nivel de los elementos elásticos del tórax y del pulmón. Más adelante (*véase* la pág. 178) se podrá ver el papel esencial que desempeñan los **cartílagos costales** en este mecanismo. Obsérvese también que en posición vertical, la gravedad interviene de manera importante para hacer que las costillas desciendan por su propio peso.

Cuarto grupo

El cuarto grupo es el de los **músculos accesorios de la espiración.** No por ser accesorios, estos músculos dejan de ser importantes, ni extremadamente potentes, ya que condicionan la **espiración forzada** y el **esfuerzo abdominal.**

Los **músculos abdominales (Fig. 30)**, el músculo recto del abdomen **7**, el músculo oblicuo externo **8** y el músculo oblicuo interno **9**, descienden con fuerza el orificio inferior del tórax.

En la región toracolumbar **(Fig. 29)** se encuentran **otros músculos accesorios de la espiración**: la porción inferior del músculo iliocostal torácico **13**, el músculo longísimo **14**, el músculo serrato posteroinferior **15** y el músculo cuadrado lumbar (sin representar aquí).

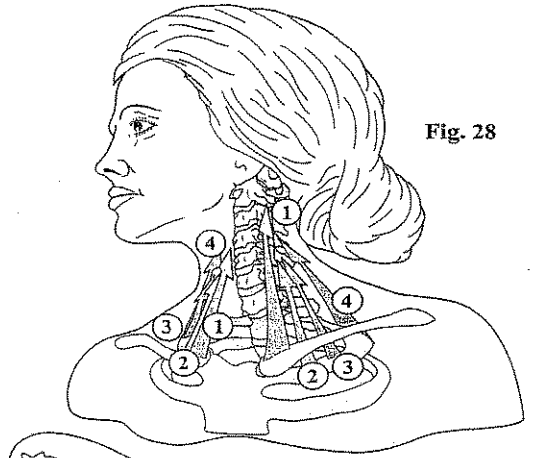


Fig. 28

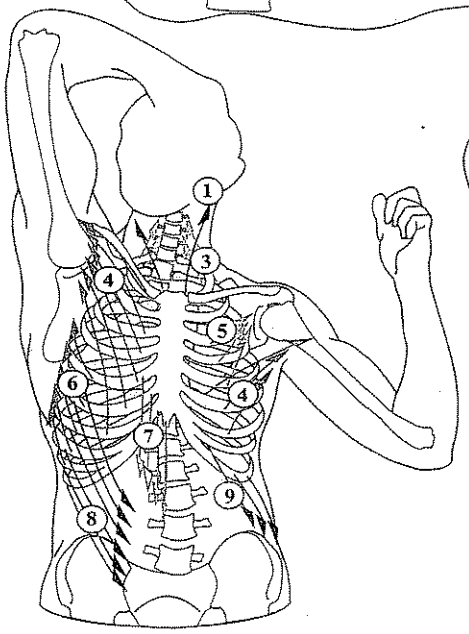


Fig. 30

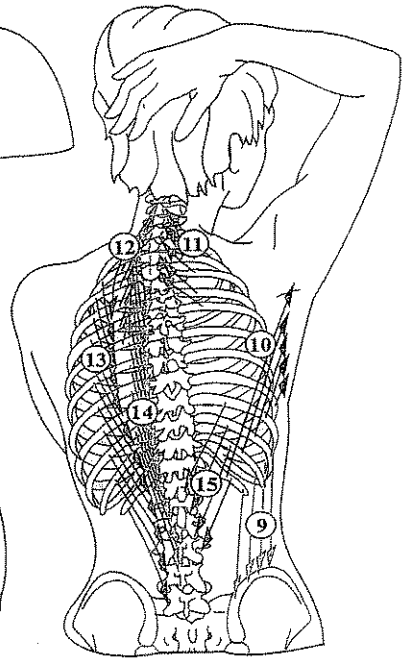


Fig. 29

Relación de antagonismo-sinergia entre el diafragma y los músculos abdominales

El diafragma es el principal músculo inspirador. Los músculos abdominales son músculos espiratorios accesorios extremadamente potentes, ya que son capaces de producir la espiración forzada y las fuerzas abdominales. Ahora bien, estos músculos que parecen ser antagonistas son, al mismo tiempo, sinergistas. Esto puede parecer paradójico, incluso ilógico, pero, en la práctica, no pueden funcionar independientemente los unos de los otros. Es lo que caracteriza la **relación de antagonismo-sinergia**.

¿Cuál es la relación entre el diafragma y los abdominales en el transcurso de las dos fases de la respiración?

Durante la inspiración

Durante la inspiración (Fig. 31 visión de perfil y Fig. 32 visión de frente) la contracción del diafragma desciende el centro frénico **(flechas rojas)**, lo que aumenta el diámetro vertical del tórax; pero, a continuación, interviene la resistencia a la elongación de los elementos verticales del mediastino (M) y, sobre todo, la resistencia de la masa de las vísceras abdominales (D). Esta masa está sujeta por la **"cincha abdominal"** constituida por los **potentes músculos abdominales**: los **rectos abdominales** (RA), pero también los **músculos transversos (T)**, músculos oblicuos internos (OI) y músculos oblicuos externos (OE). Sin ellos, el contenido abdominal se vería impelido hacia abajo y hacia adelante, y el centro frénico no podría tomar un punto fijo sólido que le permitiera al diafragma **elevar las costillas inferiores**. De este modo, la **acción antagonista-sinérgica** de los músculos abdominales es indispensable para la eficacia del diafragma. Esta noción se confirma en patología, en el caso de las parálisis poliomielíticas de los músculos abdominales, en las que la eficacia ventilatoria del diafragma está disminuida. En la visión de perfil (Fig. 31), las direcciones de las fibras de los músculos anchos dibujan una estrella de seis puntas, lo que esquematiza bien el "tejido" de la cincha abdominal.

Durante la espiración

Durante la espiración (Fig. 32 visión de perfil y Fig. 34 visión de frente), el diafragma se relaja, y la contracción de los abdominales desciende el orificio inferior del tórax, de modo que disminuye simultáneamente los diámetros transversal y anteroposterior del tórax.

Por otra parte, aumentando la presión intraabdominal, los citados músculos desplazan la masa de las vísceras hacia arriba y hacen ascender el centro frénico, lo que **disminuye el diámetro vertical del tórax**, al tiempo que "cierran" los senos costodiafragmáticos (se denominan así fondos de saco pleurales). Los músculos abdominales son pues los **antagonistas perfectos del diafragma**, ya que disminuyen simultáneamente los tres diámetros del tórax.

El papel respectivo del diafragma y de los músculos abdominales se puede por tanto concebir de la manera siguiente **en una gráfica (Fig. 35)**: cada uno de estos grupos musculares se contrae de manera permanente, aunque **su tono evoluciona de manera inversa.**

Durante la **inspiración**, la tensión del diafragma aumenta, mientras que el tono de los músculos abdominales decrece.

En cambio, durante la **espiración**, la tensión de los músculos abdominales aumenta, mientras que el tono del diafragma disminuye.

De este modo, entre estos dos grupos musculares existe un **equilibrio dinámico** que se desplaza perpetuamente en un sentido o en otro y que ilustra con claridad la noción de antagonismo-sinergia.

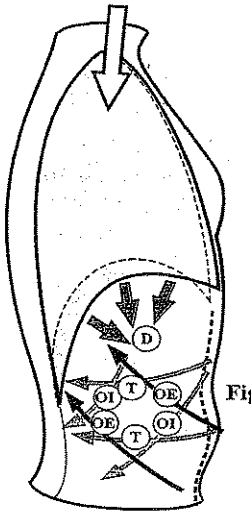


Fig. 31

Inspiración

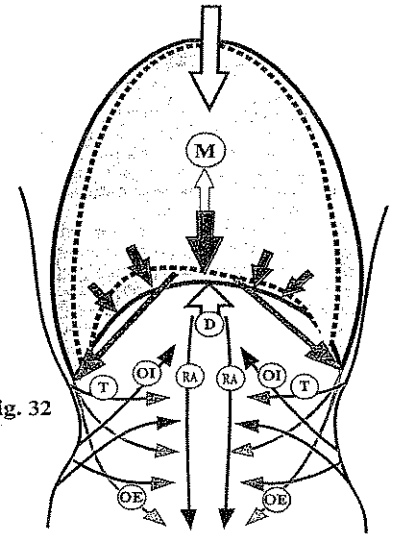


Fig. 32

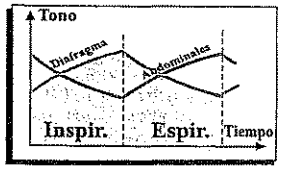


Fig. 35

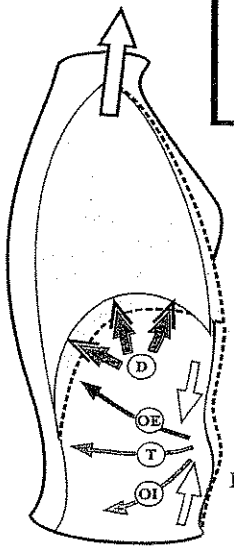


Fig. 33

Espiración

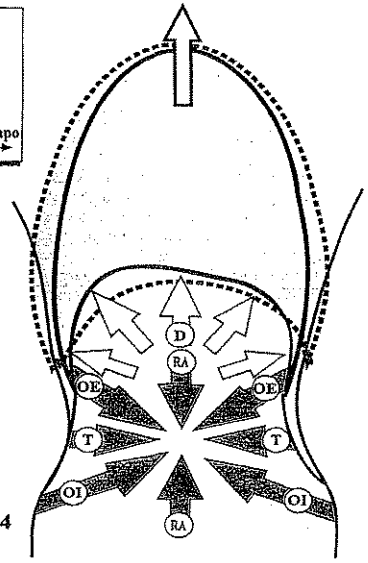


Fig. 34

La circulación aérea en las vías respiratorias

El clásico **experimento de Funck** (**Figs. 36** y **37**) ilustra la circulación aérea en las vías respiratorias: si se reemplaza el fondo de un recipiente por una membrana elástica estanca y, por otra parte, si se comunica una vejiga de buey con el exterior mediante un tubo que atraviese el tapón, se podrá realizar la repleción o la depleción de esta vejiga movilizando tan sólo el fondo elástico. De hecho, si se tira de la membrana elástica (**Fig. 37**), aumenta la capacidad total del recipiente en un volumen suplementario igual a V, al tiempo que se disminuye la presión en el interior del mismo. La presión atmosférica es entonces superior a la presión interior y una cantidad de aire, cuyo volumen es **exactamente igual al volumen** V, penetra por el tubo e hincha la vejiga, lo que produce el **mecanismo de la inspiración**.

Por el contrario, si se suelta la membrana elástica (**Fig. 36**), ésta vuelve a su posición inicial y la capacidad total del recipiente disminuye en el mismo valor V, lo que aumenta la presión en el interior del mismo. El aire que se hallaba en la vejiga se expulsará a través del tubo. Se trata del **mecanismo de la espiración**.

Así, la respiración se basa en el **aumento** o **disminución** del volumen de la cavidad torácica (**Fig. 38**). De hecho, si se parte de la posición inicial, en la que el tórax presenta un volumen ovoide truncado con base **ACBD**, de diámetro transversal **CD**, de diámetro anteroposterior **AB** y de diámetro vertical **SP**, se puede considerar que la acción de los músculos respiratorios y, en particular la del diafragma, aumenta todos los diámetros y lo transforma en un ovoide mayor truncado que contiene el precedente, de base **A'B'C'D'**, de diámetro anteroposterior **A'B'** mayor que **CD** y de diámetro vertical **SP'** mayor que **SP**.

La diferencia con el experimento de Fulk estriba en que todas las dimensiones del recipiente han aumentado simultáneamente. Sin embargo, existe una **notoria analogía con la realidad anatómica** (**Fig. 39**), ya que en ella se encuentra de nuevo el tubo vertical por el que penetra el aire: la tráquea; la vejiga de buey que se hincha: los pulmones; y la membrana elástica que reemplaza el fondo del recipiente: el diafragma, aunque éste aumenta también los otros diámetros.

No obstante, se deben recalcar **dos puntos**:

- por una parte, los pulmones ocupan la **totalidad del volumen interior del tórax** y la unión entre las paredes torácicas y el pulmón está garantizada por la **pleura**, cuya cavidad permanece virtual. En efecto, en estado normal, sus dos hojas permanecen pegadas y se deslizan libremente una sobre la otra, lo que constituye un elemento importante de eficaz solidez mecánica entre los pulmones y la pared torácica;
- durante la inspiración, la presión intratorácica disminuye y se hace negativa, no sólo en relación al aire exterior, sino también respecto a la cavidad abdominal. Esto tiene dos consecuencias: por una parte, la penetración del aire por la tráquea hasta los alvéolos pulmonares y, por otra, la **aceleración de la circulación venosa de retorno hacia la aurícula derecha** (**AD**). Por lo tanto, la inspiración es un importante y **excelente elemento de relleno del corazón** y, a través de la circulación menor, de la **correcta llegada de la sangre venosa** hasta la pared alveolar al contacto del aire fresco que acaba de penetrar en ella. Así, **la inspiración garantiza a la vez la circulación aérea y la circulación sanguínea pulmonar**.

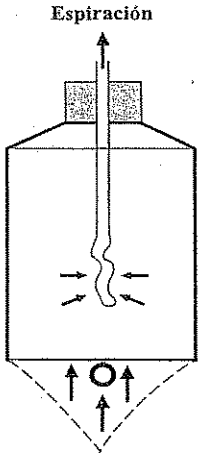


Fig. 36

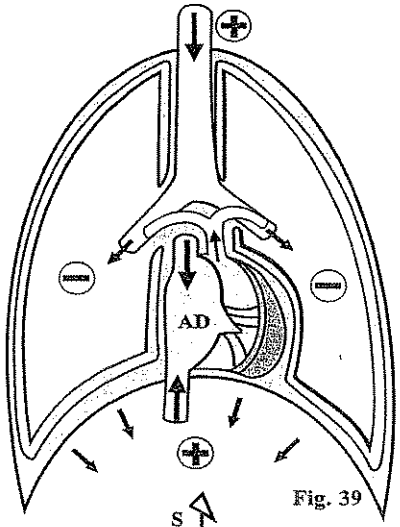


Fig. 39

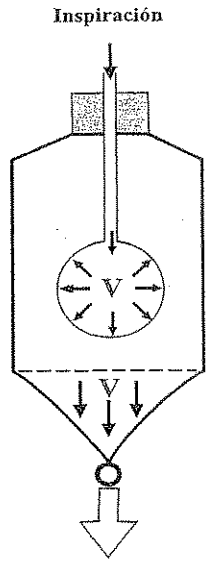


Fig. 37

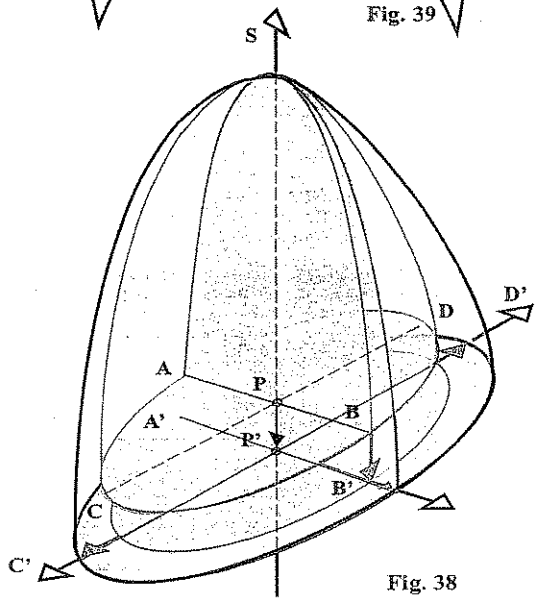


Fig. 38

Los volúmenes respiratorios

Se denominan volúmenes respiratorios, o volúmenes pulmonares, a las cantidades de aire puestas en movimiento durante las distintas fases de la respiración y los diferentes tipos respiratorios.

Comparación de los distintos volúmenes pulmonares

Se ha creído conveniente esquematizar estos diferentes volúmenes en los pliegues de un acordeón, lo que permite compararlos entre sí.

- Durante la respiración tranquila, en reposo (**Fig. 40**), los volúmenes respiratorios se definen de la siguiente manera: el aire movilizado entre una espiración y una inspiración normales representa el volumen corriente (VC): medio litro. En el gráfico esta amplitud de la respiración en reposo está representada por la tira azulada 2 que contiene las oscilaciones del espirograma.
- Si se prolonga una inspiración normal por una inspiración forzada, penetrará en los pulmones una cantidad adicional de aire que representa el **volumen de reserva inspiratoria** (VRI): un litro y medio.
- La suma de este volumen de reserva inspiratoria y del volumen corriente **constituye la capacidad inspiratoria** (CI): dos litros. Si tras una espiración normal se prosigue la espiración forzada hasta el límite, se expulsa entonces el **volumen de reserva espiratoria** (VRE): un litro y medio.
- La suma del volumen de reserva inspiratoria, del volumen corriente y del volumen de reserva espiratoria constituye la **capacidad vital** (CV): tres litros y medio.
- Al término de una espiración forzada y completa subsiste aún en los pulmones y en los bronquios cierta cantidad de aire denominada **volumen residual** (VR): medio litro, que no puede expulsarse.
- La suma del volumen residual y del volumen de reserva espiratoria constituye la **capacidad residual funcional** (CRF): dos litros.

Por último, la suma de la capacidad vital y del volumen residual constituye la **capacidad pulmonar total**: cuatro litros.

Durante el esfuerzo

Durante el esfuerzo (Fig. 41), los diferentes volúmenes se reparten de forma distinta en la capacidad pulmonar total.

- El único que no varía es el volumen residual ya que se trata de un aire imposible de expulsar, sean cuales sean la fuerza y la intensidad de los movimientos respiratorios.
- Sin embargo, a medida que se acelera la frecuencia respiratoria se produce, en primer lugar, **un aumento del volumen corriente** (VC) hasta un máximo y, a continuación, como la frecuencia respiratoria continua aumentando, el volumen corriente tiende a descender ligeramente. Se denomina **débito ventilatorio** al producto de la frecuencia respiratoria por el volumen corriente. De todo ello se deduce que el débito ventilatorio acaba alcanzando un máximo.
- El volumen de reserva espiratoria aumenta de manera notable, lo que significa que la amplitud de la respiración rápida está más próxima a la dilatación máxima del tórax que durante la respiración en reposo.
- La consecuencia del aumento del volumen corriente y del volumen de reserva espiratorio es **la disminución del volumen de reserva inspiratoria (VRI)**.

En la gráfica de esfuerzo, se ha añadido el espirograma de reposo para poder comparar.

Todo esto es lógico, fácil de recordar, y de gran importancia en los esfuerzos de la vida cotidiana y de las actividades deportivas.

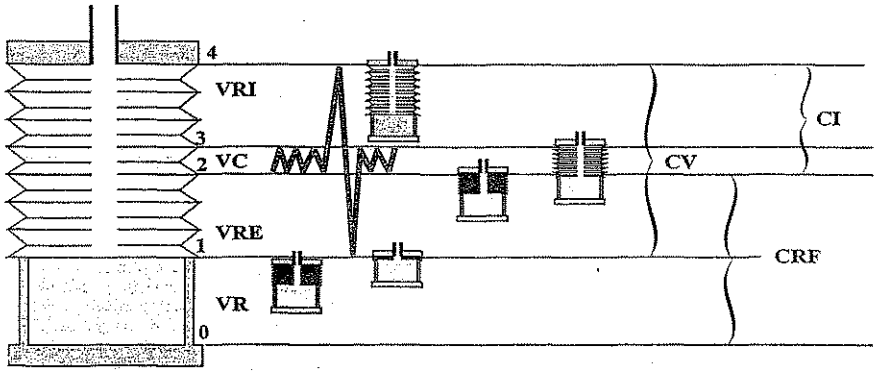


Fig. 40

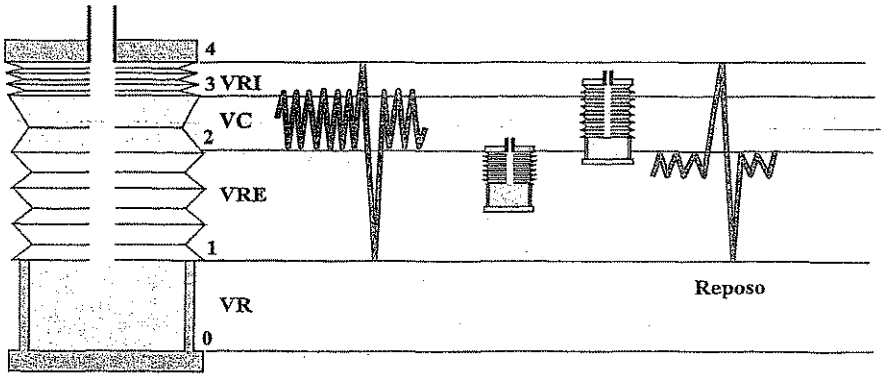


Fig. 41

Fisiopatología respiratoria

Muchos son los factores que pueden perturbar la eficacia de la ventilación.

El experimento de Funk puede modificarse (**Fig. 42**) para ilustrar las alteraciones que puede desencadenar una fractura costal: se reemplaza una parte de la pared del recipiente por otra membrana elástica. Cuando se tracciona de la membrana del fondo, esta membrana parietal **se deprime un volumen v que se sustrae del volumen V**. La vejiga de buey se hincha con un volumen menor, igual a V-v.

Esto ocurre en patología cuando se fractura una costilla tras un fuerte traumatismo del tórax: una superficie más o menos grande de pared torácica **deja de seguir los movimientos y se deprime durante la inspiración**: se trata de la **respiración paradójica**.

El rendimiento de la ventilación disminuye lo que provoca un estado de **distress respiratorio** caracterizado por una disminución catastrófica de la hematosis. Este término describe el mecanismo de oxigenación de la sangre en los alvéolos pulmonares.

Existen otras circunstancias que determinan la disminución de la eficacia respiratoria, pudiendo llegar hasta el distress respiratorio. Están resumidas en la **figura 43**. Estos factores son, mayoritariamente, **ventilatorios.**

- Un **neumotórax 1**, derrame gaseoso en la cavidad pleural. El pulmón se retrae sobre sí mismo por su propia elasticidad 2. La irrupción de aire en la pleura puede deberse a una **herida pleuro-pulmonar (flecha negra)** de forma que en cada inspiración el aire penetra en la herida: se trata de la **traumatopnea**, causa de un gran distress respiratorio. La penetración de aire puede provenir de la **ruptura de un bronquio** o de una **bulla enfisematosa**; así se denomina la dilatación brutal de un alveolo pulmonar. Cuando la pleura ya no arrastra al pulmón, éste pierde toda capacidad funcional 2, y la cavidad pleural se llena de sangre (es un **hemotórax**) o de líquido inflamatorio provocando un **hidrotórax**, también denominado **pleuresía 3**. El líquido se acumula en la base torácica.
- Una **fractura costal 4** desencadena una pérdida funcional más o menos importante según su gravedad.
- Una **obstrucción bronquial** provoca una **atelectasia 5**: el territorio del bronquio ya no respira, y el tejido pulmonar o parénquima, se retrae. En la figura, el lóbulo superior izquierdo **sufre una atelectasia** por obstrucción del bronquio del lóbulo superior izquierdo.
- Como consecuencia de una inflamación, tras una pleuresía, piotórax o hemotórax, puede acontecer un engrosamiento importante de la pleura, denominado **paquipleuritis 6**, constituye una **capa esclerosa** que comprime el pulmón e impide su expansión inspiratoria.
- Una **dilatación aguda del estómago 7**, que obstaculiza el movimiento del diafragma.
- Un **meteorismo abdominal importante 8**, dilatación del intestino por oclusión que desplaza el diafragma hacia arriba, es una causa abdominal de distress respiratorio.
- Una **parálisis del nervio frénico (Fig. 44)** puede perturbar la respiración. En la figura, con el nervio frénico izquierdo inutilizado, **la mitad izquierda de la cúpula diafragmática queda paralizada** y sigue los movimientos denominados de respiración paradójica: durante la inspiración, la cúpula izquierda se eleva en lugar de descender.

La mecánica ventilatoria se puede modificar en gran medida con la **posición del cuerpo**:

- en **decúbito supino (Fig. 45)**, la masa de las vísceras desplaza el diafragma hacia arriba, la inspiración es más difícil, el volumen corriente es menor y está desplazado hacia la parte superior del gráfico, en detrimento del volumen de reserva inspiratoria. Esta situación acaece en el transcurso de las **anestesias generales**, e incluso se agrava por los anestésicos, que disminuyen la eficacia de los músculos respiratorios. Lo mismo ocurre en el caso de **coma**;
- en **decúbito lateral (Fig. 46)**, el desplazamiento del diafragma se acentúa más en el lado del declive. Por lo tanto, el pulmón inferior respira con mayor dificultad que el superior, situación agravada por el estasis circulatorio. Se trata de una posición especialmente temida por los anestesistas.

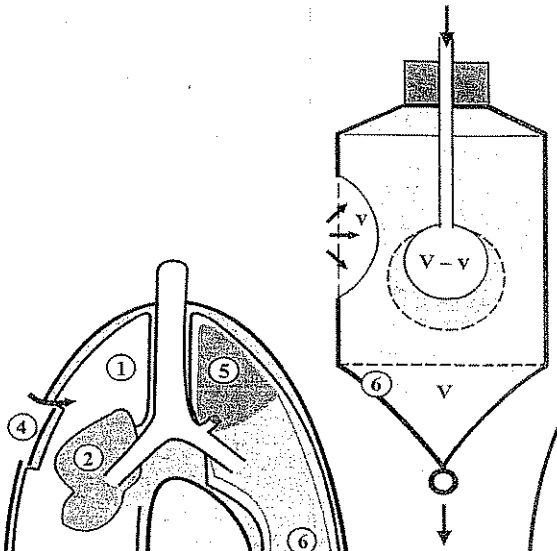


Fig. 42

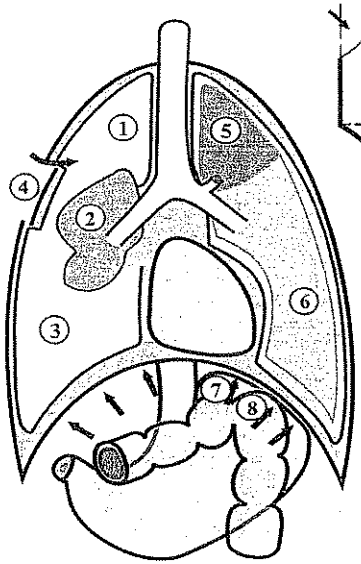


Fig. 43

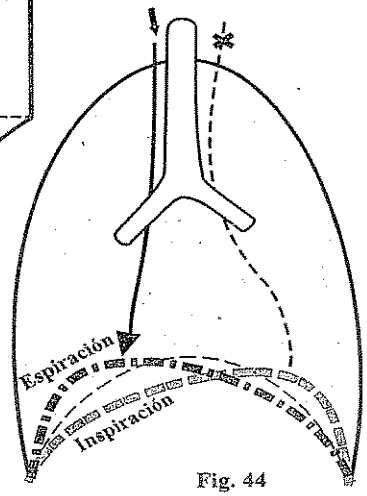


Fig. 44

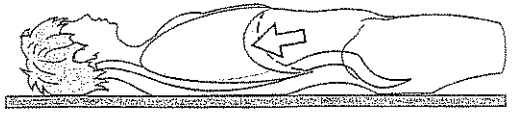


Fig. 45

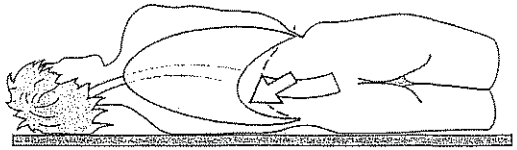


Fig. 46

Tipos respiratorios: los deportistas, los músicos y los otros...

La mecánica ventilatoria difiere **según la edad y el sexo** (**Fig. 47**):

- en la **mujer**, la respiración es de tipo **costal superior**: la amplitud máxima se localiza en la **parte superior del tórax** por aumento del diámetro anteroposterior;
- en el **hombre**, la respiración es tipo **mixta, costal superior e inferior**;
- en el **niño**, es de tipo **abdominal**;
- mientras que en el anciano, las condiciones respiratorias se ven modificadas por la cifosis torácica.

Para entender esta **fisiopatología**, es necesario tomar el **símil del farolillo** (**Fig. 48**):

- en este experimento denominado de pensamiento, el tórax está representado por un farolillo, suspendido por un lado mediante una viga rígida y rectilínea, que representa el raquis torácico;
- **la inspiración** se consigue mediante la tracción del **círculo superior del farolillo**. La llevan a cabo los músculos escalenos y los músculos esternocleidomastoideos. Simultáneamente, el fondo del farolillo se desplaza hacia abajo: se trata de la **contracción del diafragma D**;
- bajo estas dos acciones, el **volumen del farolillo aumenta y el aire penetra en el interior**;
- si se suelta la tracción sobre el círculo superior y sobre el fondo (**Fig. 49**), el **farolillo se hunde** a lo largo de la viga rígida que representa el raquis. El volumen del farolillo disminuye: se trata de la **espiración**;
- supóngase ahora que en lugar de ser rectilínea, la viga torácica es **curva** (**Fig. 50**), como un raquis torácica con cifosis; el farolillo permanece en constante posición hundida, deshinchado, y es mucho más difícil tirar del círculo superior hacia arriba.
- Esto ilustra las **dificultades ventilatorias que se derivan de una cifosis torácica acentuada.**

Es exactamente el caso de los individuos de **edad avanzada** (**Fig. 51**): el aumento de la curva del raquis torácico superior conlleva la convergencia de las costillas superiores y la **disminución** de la amplitud de sus movimientos. De este modo, el lóbulo superior de los pulmones carece prácticamente de ventilación, y la respiración adopta el tipo costal inferior e incluso abdominal, situación agravada por la hipotonía muscular. Existen profesiones en las que la respiración desempeña una función muy importante: los **deportistas**, y evidentemente, entre ellos, los **nadadores**, pero también los **músicos**. Este papel es evidente en los **músicos que tocan un instrumento de viento** o en los **cantantes**, en los que la **capacidad respiratoria** debe ser máxima al igual que el **control del flujo aéreo**, mediante el **control de los músculos espiratorios**. Sin embargo, en los músicos en general, la respiración desempeña un papel esencial, más allá de su función ventilatoria, ya que la ejecución misma de un músico se modela sobre el ritmo respiratorio. La respiración trasluce en algunos adagios, de forma que podría afirmarse que la respiración es como un metrónomo muy interno para el músico.

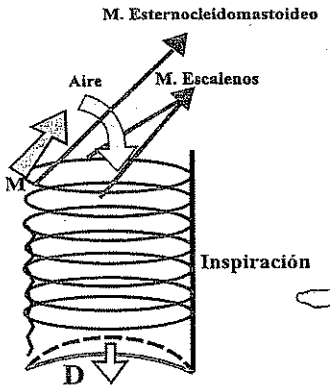


Fig. 48

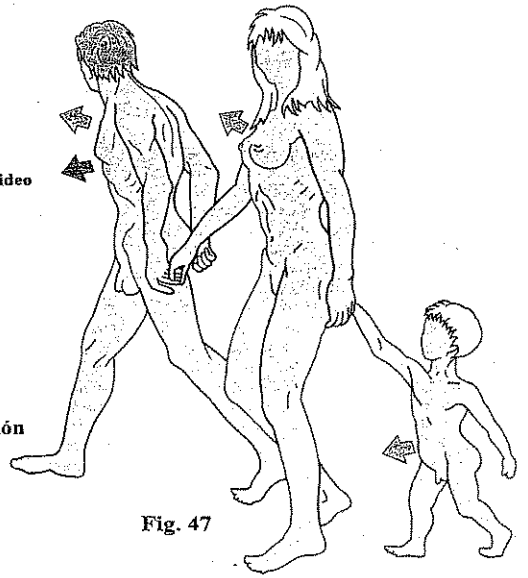


Fig. 47

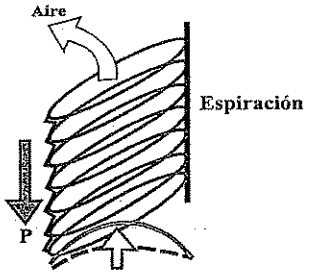


Fig. 49

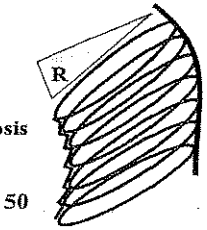


Fig. 50

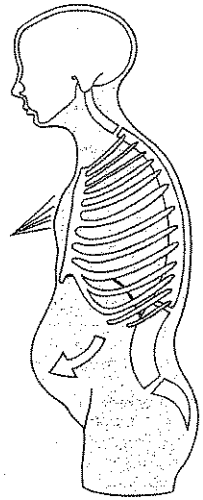


Fig. 51

El espacio muerto

Se denomina **espacio muerto** a un volumen de aire que no participa en los intercambios respiratorios. En la representación de los volúmenes respiratorios a través del símil del acordeón (**Fig. 52**), si se prolonga el tubo de escape del aire mediante un **recipiente de gran volumen (EM)**, se aumenta artificialmente el espacio muerto. De hecho, si sólo se utiliza un volumen corriente de 0,5 litros y si el volumen del tubo y del recipiente sobreañadido es de 0,5 litros, la ventilación sólo logrará desplazar el aire en el interior del espacio muerto: ningún volumen de aire fresco penetrará en el interior del acordeón.

El **ejemplo del buzo** (**Fig. 53**) permite una mejor comprensión. Se puede imaginar un buzo unido a la superficie sólo **a través de un tubo por el cual inspira y espira**; si el volumen del tubo es igual a su capacidad vital, en ningún momento, pese a sus enérgicos esfuerzos, podrá inspirar aire fresco. En cada movimiento respiratorio, inspirará el aire viciado que ha enviado al tubo en la espiración precedente. De este modo, **morirá rápidamente por asfixia**, cosa que sucedió durante los primeros intentos de buceo con escafandra. La solución consiste en suministrarle aire fresco por el tubo y eliminar el aire espirado **a través de una válvula fija al casco**.

El **espacio muerto anatómico** (**Fig. 54**) representa **el volumen del árbol respiratorio**, es decir, de las **vías aéreas superiores**, boca, fosas nasales incluidas, de la tráquea, de los bronquios y de los bronquiolos. El volumen de espacio muerto es de **150 ml**, lo que significa que durante la respiración normal, cuando se moviliza únicamente el volumen corriente, tan solo llegan a las paredes alveolares y participan en la hematosis **350 ml de aire fresco**. Para aumentar el rendimiento es necesario:

- bien aumentar el volumen ventilado mediante la intervención del volumen de reserva inspiratorio o espiratorio;
- bien disminuir el volumen del espacio muerto, lo que se puede llevar a cabo con una **traqueotomía (T)** que establece una comunicación directa entre la tráquea y el exterior y disminuye así el espacio muerto en casi la mitad.

Sin embargo, la traqueotomía no es un acto inocuo, ya que priva al árbol respiratorio de sus defensas naturales, es decir de la filtración y el calentamiento del aire inspirado por las fosas nasales y, sobre todo, del cierre de la glotis ante la presencia de cuerpos extraños y lo expone a **infecciones broncopulmonares graves**. Por lo tanto, ésta, no debe ser utilizada más que en situaciones de grave peligro.

En la figura de **volúmenes respiratorios simbolizados por el acordeón** (**Fig. 55**), la traqueotomía está representada **por un orificio localizado en la base del tubo** (*véanse* también las Figs. 40 y 41 pág. 169).

No obstante, existe **otro tipo de espacio muerto** (**Fig. 56**), **el espacio muerto fisiológico** (**EM'**): corresponde a la exclusión sanguínea de un territorio pulmonar producida por una embolia pulmonar (**EP**). Este territorio sin irrigar será la sede de una **ventilación aérea absolutamente ineficaz**, lo que aumentará, en la misma proporción, el espacio muerto anatómico.

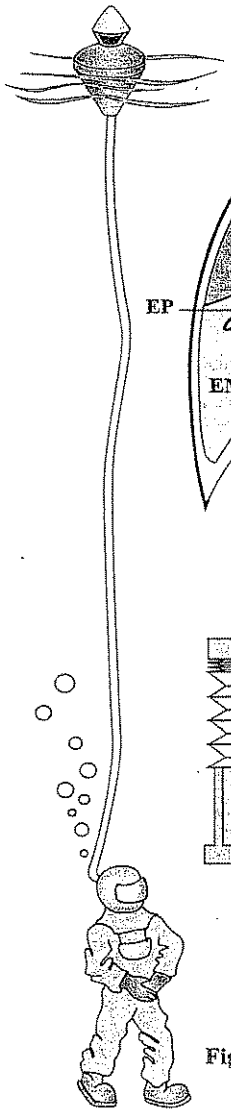


Fig. 53

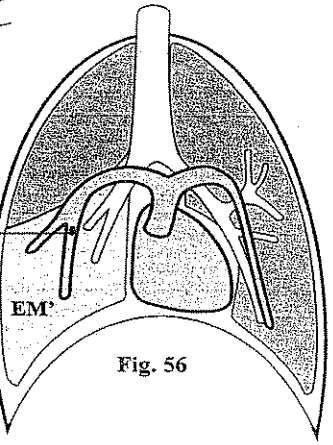


Fig. 56

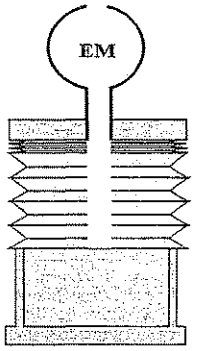


Fig. 52

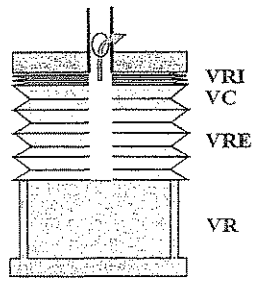


Fig. 55

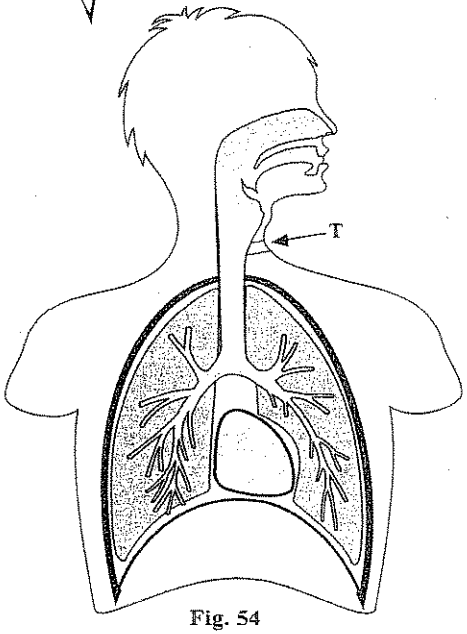


Fig. 54

La complianza torácica

La noción de **complianza** está directamente relacionada con la elasticidad de los elementos anatómicos del tórax y de los pulmones.

Durante la **espiración normal (Fig. 57)**, el tórax y los pulmones adoptan una posición de equilibrio comparable a la de un resorte que no está ni comprimido ni estirado. Existe entonces un equilibrio de presión entre el aire intraalveolar y el aire atmosférico.

A través de un esfuerzo muscular de espiración forzada **(Fig. 58)**, se comprimen los elementos elásticos del tórax. Si, para expresarlo en una imagen, se somete al resorte representado por el tórax a una **presión positiva** intratorácica, por ejemplo, de + 20 cm de agua, la presión intrapulmonar será más fuerte que la presión atmosférica y el aire se escapará por la tráquea. Sin embargo, el tórax tenderá a recuperar su posición inicial, como el resorte tenderá a volver a su **posición 0**.

Por el contrario, si se realiza un **esfuerzo de inspiración (Fig. 59)**, lo que podría compararse al estiramiento del resorte, se creara una **presión negativa intratorácica** de - 20 cm de agua, con respecto al aire atmosférico; esto determina la penetración del aire en la tráquea, pero, debido a su elasticidad, el tórax tiende a recobrar su posición inicial.

Estos fenómenos se pueden representar mediante **curvas de complianza (Fig. 60)**, que representan las variaciones de la presión intratorácica en abscisas, en función de las variaciones del volumen torácico en ordenadas.

Se pueden trazar tres curvas:

- La **curva de relajación torácica total (T)**, en la cual la presión nula corresponde al volumen de relajación **(VR)**. Esta curva es el resultado de la curva volumen/presión de los pulmones aislados **(P)** y de la curva volumen/presión de la pared torácica aislada **(S)**; es de notar que el volumen de relajación corresponde a una igualdad de fuerza entre la elasticidad parietal que desarrolla una presión **(Ps)** y la elasticidad pulmonar que desarrolla una presión de signo opuesto **(Pp)**.
- En el volumen V3, es decir, al 70% de la capacidad pulmonar total, la presión de origen parietal es nula y la presión de relajación torácica total se debe enteramente a la elasticidad de los pulmones (las dos curvas **P** y **T** se cruzan en ese punto).
- En un volumen intermedio V2, la presión de relajación de la pared torácica aislada es igual a la mitad exacta de la presión de relajación pulmonar, de tal modo que la presión de relajación torácica total equivale a la mitad de la presión de relajación pulmonar.
- Conviene subrayar un último punto: en espiración máxima, los pulmones no han perdido todavía su máxima elasticidad, puesto que la curva **P** aún está a la derecha del cero de presiones; esto explica que, si se deja que el aire penetre en las pleuras, aún pueden retraerse hasta un volumen mínimo **Vp**, en el que pierden toda fuerza de retracción y, por tanto, toda presión sobre el aire que contienen.

Por consiguiente, se puede considerar la **elasticidad total del tórax (Fig. 61)** como la asociación de dos resortes **(A)**: un gran resorte **(S)** que representa la pared torácica y un pequeño resorte **(P)** que representa los pulmones. La sujeción funcional de éstos a la pared torácica a través de la pleura equivale a la asociación conjunta de ambos resortes **(B)**, para lo que es preciso comprimir el gran resorte **(S)** y estirar el pequeño resorte **(P)**; la asociación de estos dos resortes equivale a un solo resorte **(C)** que representa la elasticidad torácica total **(T)**. Pero, si la unión funcional entre el pulmón y la pared torácica quedara destruida, cada uno de los dos resortes recuperaría su propia posición de equilibrio **(A)**.

Volviendo a la noción de complianza, representa la relación entre un volumen de aire y la presión parietal necesaria para movilizarlo. En el gráfico **(Fig. 60)**, la citada complianza representa el trazado de la parte media de la curva, pudiéndose constatar entonces que la complianza del pulmón aislado es mayor que la complianza de la pared torácica aislada, siendo la complianza torácica total la suma algebraica de estas dos complianzas.

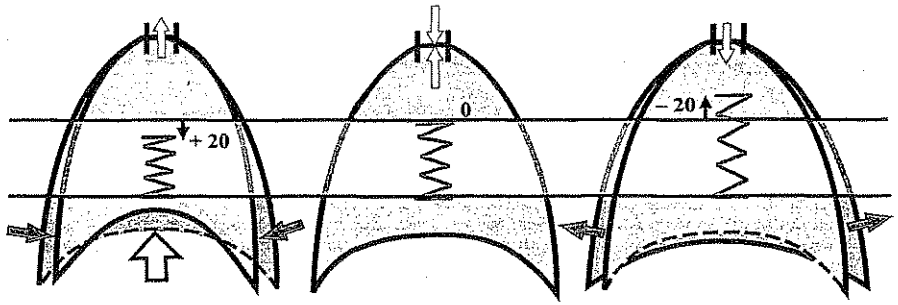


Fig. 58 Fig. 57 Fig. 59

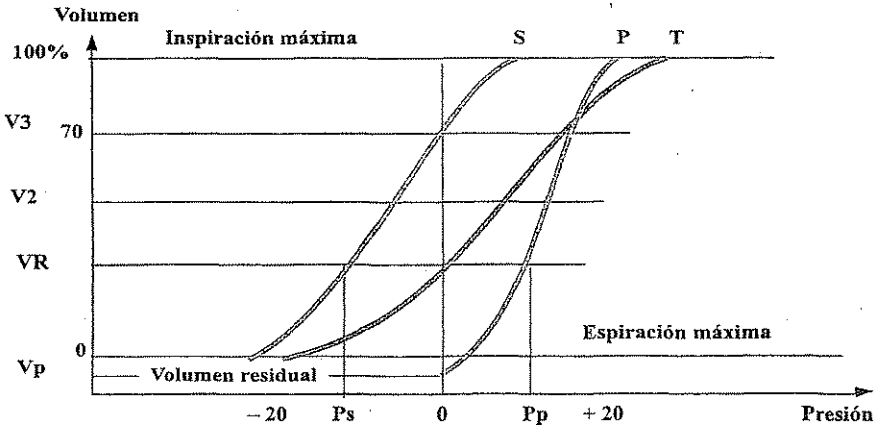


Fig. 60

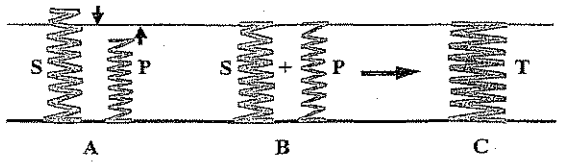


Fig. 61

Movilidad elástica de los cartílagos costales

Ya se ha visto con anterioridad (*véanse* **las Figs. 19 y 20 págs. 155 y 157**) que durante la inspiración los cartílagos costales efectúan un desplazamiento angular y una torsión alrededor de su eje longitudinal. Esta torsión desempeña un papel importante en el **mecanismo de la espiración**. De hecho, cuando el esternón se eleva durante la inspiración **I**, dado que el extremo posterior de las costillas permanece unido al raquis mediante las articulaciones costovertebrales (**Fig. 62**), los cartílagos costales realizan una **rotación**, representada por las **flechas t y t' sobre su eje longitudinal**.

Al mismo tiempo existen **angulaciones (a)** en las **articulaciones condrocostales y esternocondrales** (para facilitar la comprensión, en esta figura el esternón está supuestamente fijo y el raquis móvil, lo que mecánicamente es lo mismo).

Esquemáticamente, estas articulaciones condrocostales y esternocondrales (**Fig. 63**) son **incrustaciones** de cada uno de los extremos del cartílago costal:

- el **extremo interno del cartílago 3** está encajado en el **borde del esternón 1** en un **ángulo diedro 2**, que recibe con exactitud el extremo del cartílago 4, permitiendo algunos movimientos en sentido vertical, **pero ninguno en el sentido de la torsión**;
- el **extremo externo del cartílago 5** tiene forma de **cono plano** de delante atrás; este cono se incrusta en el extremo anterior de la costilla **6**, ahuecada a modo de cono conformado a la inversa; también en este caso, la articulación permite desplazamientos verticales y laterales, **pero ningún movimiento de torsión**.

En el caso de la espiración **E** acontece lo contrario. Cuando, durante la **inspiración (Fig. 64)**, la costilla efectúa movimientos de descenso en relación al esternón (que asciende), el cartílago costal sufre una torsión sobre su eje equivalente a un ángulo t y se comporta entonces como una **barra de torsión**. Las barras de torsión son resortes que trabajan, como su nombre indica, en torsión, y no en acortamiento-elongación. Este dispositivo, bien conocido por los ingenieros, se utiliza como resorte amortiguador en los automóviles: si se tuerce una barra sobre su eje longitudinal, su elasticidad almacena la energía de la torsión y la restituye cuando se suelta la barra. Del mismo modo, la **energía de los músculos inspiradores se concentra en las barras de torsión de los cartílagos costales** durante la inspiración y en el momento de la relajación de los citados músculos, sólo por la elasticidad de estos cartílagos, el **tórax vuelve a su posición inicial**. Los cartílagos son tanto más flexibles y elásticos cuanto más joven es el sujeto. Con la edad tienden a osificarse, lo que explica la **pérdida de flexibilidad torácica y respiratoria** de los ancianos.

Este análisis mecánico permite entender la importancia de la unión de las costillas rígidas con el esternón móvil, mediante el sistema elástico de los cartílagos costales.

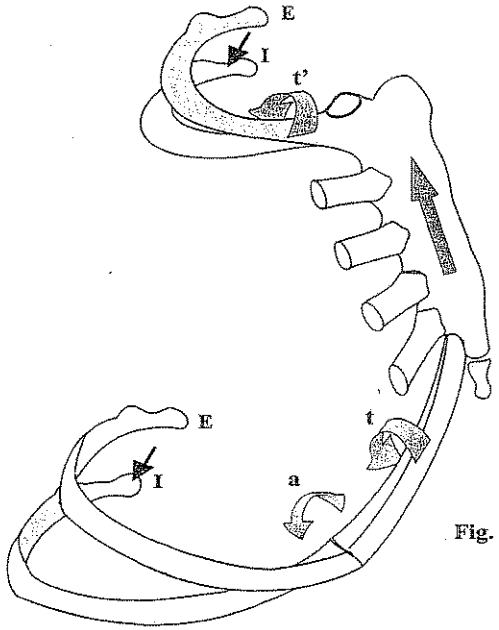


Fig. 62

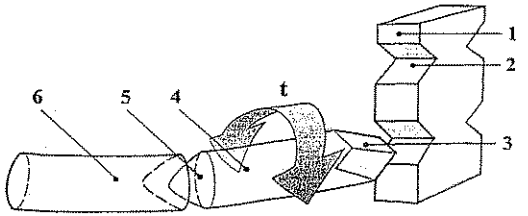


Fig. 63

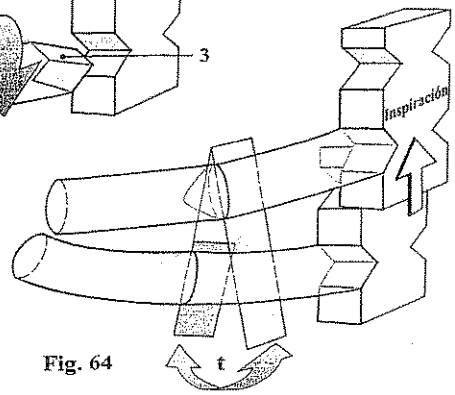


Fig. 64

Mecanismo de la tos
Maniobra de Heimlich

Mecanismo de la tos

El aire que penetra en las vías respiratorias se **filtra, humedece** y **calienta** al pasar por las fosas nasales. En principio, ya no contiene **ninguna partícula en suspensión** cuando llega a la tráquea o a los bronquios. No obstante, si por inadvertencia se introducen **partículas extrañas** en el árbol bronquial, un mecanismo muy eficaz las expulsará: **la tos**. Asimismo, **la tos se encarga de expulsar los paquetes mucosos secretados por los bronquios**, que engloban las finas partículas extrañas para, a continuación, desplazarlas hacia el orificio glótico por el **movimiento incesante del epitelio ciliado bronquial**, actividad comprometida por el humo del tabaco.

El mecanismo de la tos consta de tres fases.

- **Primera fase (Fig. 65)**: una **inspiración profunda** denominada preparatoria, que hace entrar en el árbol bronquial y en los alvéolos la mayor parte del volumen de reserva inspiratorio. Esta inspiración profunda tiene el inconveniente de que puede arrastrar hacia los bronquiolos los cuerpos extraños que han franqueado la glotis.
- **Segunda fase (Fig. 66)**: la **puesta en tensión**, en la que intervienen dos factores, por una parte, el **cierre de la glotis** y, por otra, la **contracción violenta de los intercostales** y de la totalidad de los músculos espiradores accesorios y, en particular, de los **músculos abdominales**. En el transcurso de esta segunda fase, la presión intratorácica aumenta de manera considerable.
- **Tercera fase (Fig. 67): la expulsión**. Mientras que los músculos espiradores accesorios permanecen tensos, **la glotis se abre bruscamente** y libera una **violenta corriente de aire bronquial**, que arrastra las partículas extrañas y los paquetes de moco, haciéndoles **franquear el orificio glótico**, hacia la **faringe**, donde se **expectorarán**, es decir serán expulsadas fuera de la **orofaringe**.

Parece pues que, para ser eficaz, la tos debe hacer intervenir:

- por una parte, unos **músculos abdominales** eficaces. Es sabido que en los **poliomielíticos**, cuyos abdominales están paralizados, o incluso en los **operados del abdomen**, en quienes la tensión de los abdominales es dolorosa y, por lo tanto, temida, la tos o no existe o carece de toda eficacia;
- y por otra, el **cierre de la glotis**, lo que supone **la integridad del aparato laríngeo y de su inervación**.

La tos es un **acto reflejo**, desencadenado por zonas sensitivas en la **bifurcación traqueal**, cuya vía sensitiva centrípeta está constituida por los neumogástricos. Sus centros son bulbares; sus vías efectoras afectan no sólo a los nervios laríngeos, ramas del neumogástrico, sino también a los **nervios intercostales y abdominales**. Su mecanismo, extremadamente delicado, puede perturbarse con facilidad.

Maniobra de Heimlich

Se dan casos en los que la tos está inadaptada, por ejemplo **cuando un cuerpo extraño voluminoso ha sido inhalado**: de este modo, ocurre que un adulto, intentando tragar un trozo de carne mal masticado lo inhala por un mal camino. El bocado sorprende los mecanismos de protección de las vía respiratorias y penetra en la tráquea. Los niños también pueden inhalar un bombón.

La situación es dramática ya que el individuo, intentando inspirar profundamente para toser, **hace que el cuerpo extraño penetre más en profundidad en su tráquea**, lo que agrava el **distress respiratorio**. Sin ayuda externa inmediata, puede morir por **asfixia aguda**. En este sentido, es necesario conocer entonces los **gestos que salvan** en los casos de inhalación intempestiva:

- suspender al niño por los pies, cuando no es demasiado grande, y agitarlo, consigue generalmente que el bombón salga...;
- dar golpes vigorosos en la espalda del adulto; aunque, si tras cinco golpes, el resultado es nulo, es necesario recurrir a otro tipo de maniobras más serias;
- la **maniobra de Heimlich (Fig. 68)**, bien conocida por los socorristas, consiste en comprimir de forma violenta el epigastrio del individuo en distress, colocándose detrás de él;
- esta maniobra podría ejecutarla el mismo individuo, si estuviese solo, comprimiendo su epigastrio contra el respaldo de una silla...

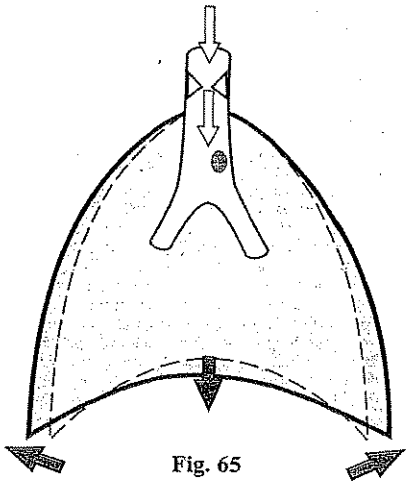


Fig. 65

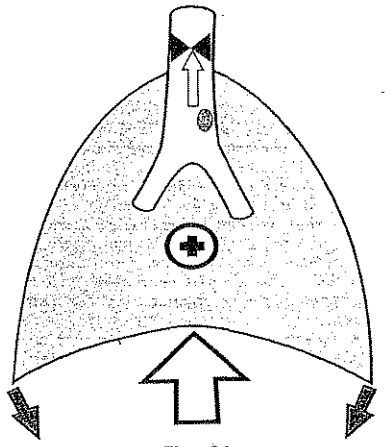


Fig. 66

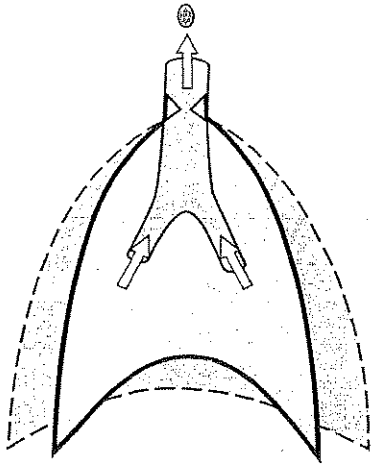


Fig. 67

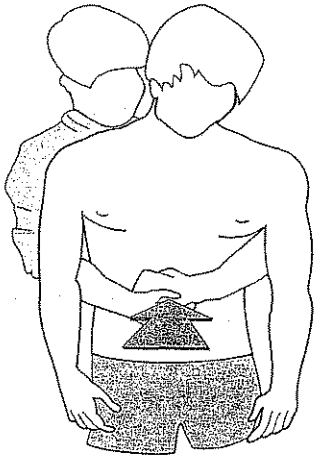


Fig. 68

Los músculos de la laringe y la protección de las vías aéreas durante la deglución

El **aparato laríngeo** interviene en tres funciones esenciales:

- el **cierre de la glotis** en el transcurso de los **esfuerzos abdominales** y durante la **tos**;
- la **protección de las vías aéreas** durante la deglución;
- la **fonación**.

Para entender el funcionamiento del aparato laríngeo es necesario hacer una recapitulación anatómica. Una **visión de 3/4 posterior (Fig. 69)** muestra la articulación de las **piezas cartilaginosas** entre sí:

- el **cartílago cricoides 6**, tiene la forma de un anillo (*véase* **la Fig. 75, pág. 185**) cuyo **engarce o placa 7**, localizado por detrás, soporta a cada lado **dos carillas articulares: la carilla tiroidea** o carilla inferior **22** que se articula con el pequeño cuerno del cartílago tiroides **5**; la **carilla aritenoidea** o carilla superior **21** recibe el cartílago aritenoides **8**;

el **cartílago tiroides**, cuya **cara interna** se puede ver **2** y la **cresta oblicua 3** que cubre su cara externa, contiene también en la parte superior de su borde posterior los **cuernos mayores 4**, unidos al **hueso hioides** (sin representar) por el **ligamento tirohioideo**. Este cartílago tiroideo está constituido por **dos placas** que forman un ángulo diedro de vértice anterior. En la parte inferior de su cara posterior **(Fig. 76)** se localizan en el **punto de inserción anterior 26**, las cuerdas vocales inferiores **15**.

A ambos lados de la placa tiroidea, los **cartílagos aritenoides 8** tienen una forma casi piramidal con apófisis:

- una **apófisis superior** también denominada cartílago comiculado **23 (*véanse* las Figs. 75 y 76 pág. 185);**
- una apófisis interna o **apófisis vocal 25** en la que se inserta la cuerda vocal inferior **15**;
- una apófisis externa o **apófisis muscular 24** en la que se inserta el músculo cricoaritenoideo posterior **13** y **14**.

Entre el cartílago corniculado y el borde superior de la placa cricoidea se extiende un **ligamento en forma de Y**, el ligamento **cricocorniculado 12** que, en el punto de unión de las tres ramas de la **Y**, contiene un **pequeño nódulo cartilaginoso**, el **cartílago interaritenoideo 11** que separa el ligamento en una **rama inferior 12** y **dos ramas superiores 10.**

En la parte superior del ángulo entrante del cartílago tiroides se fija el **pedículo del cartílago epiglótico 1**, que tiene forma de un pétalo de lirio de concavidad posterior, dirigido hacia arriba. Sus dos bordes externos están unidos al cartílago corniculado mediante **dos ligamentos aritenoepiglóticos 9**.

Además, también se pueden apreciar **(Figs. 69 y 73 pág. 185)**, el **músculo cricoaritenoideo lateral derecho 16** que une la apófisis muscular del aritenoides a la parte anterior del anillo del cricoides y el **músculo cricotiroideo derecho 17** que une el borde inferior del cartílago tiroides al borde anterior del anillo cricoideo.

La gran flecha blanca se introduce en el **orificio epiglótico (Fig. 70)**. Está constituido:

por arriba por el **cartílago epiglótico 1**;

- lateralmente por los **ligamentos aritenoepiglóticos 9** recubiertos por los **músculos aritenoepiglóticos 19;**
- por abajo **por los cartílagos corniculados 23** unidos por los **ligamentos**
- **cricocorniculados 10**, recubiertos por detrás por las fibras transversales del **músculo interaritenoideo transverso 18**.

Las paredes laterales de este orificio epiglótico las completan los **músculos tiroaritenoideos inferiores** en su capa externa **20**. El orificio epiglótico está representado abierto, como en la respiración normal. Durante la **deglución**, la glotis se cierra, pero, simultáneamente, la epiglotis bascula hacia abajo y hacia atrás **(Fig. 71)**, atraída hacia los cartílagos corniculados por la tracción de los **músculos aritenoepiglóticos 19** y de los **músculos toroaritenoides inferiores 20**. De este modo, los alimentos sólidos y líquidos se deslizan por la **cara anterosuperior de la epiglotis**, hacia la faringe inferior y la **boca esofágica** (sin representar), que se localiza por detrás del cartílago cricoides.

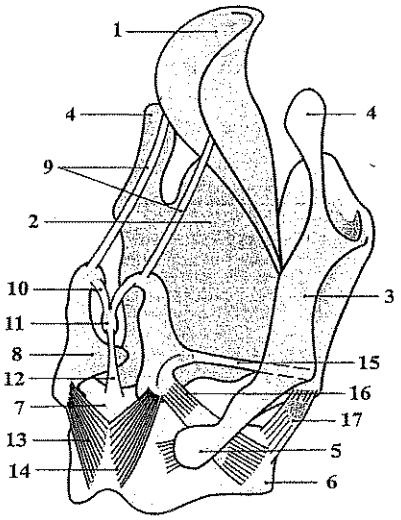


Fig. 69

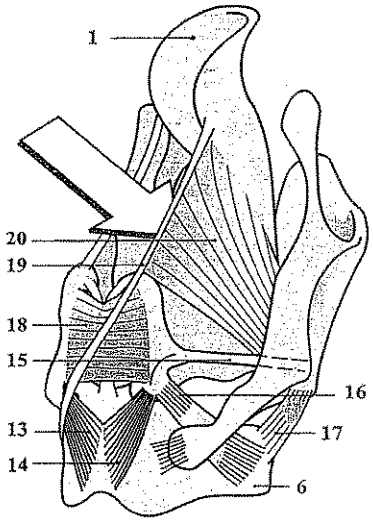


Fig. 70

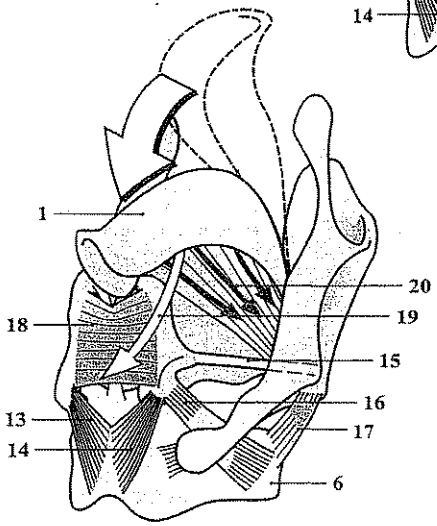


Fig. 71

La glotis y las cuerdas vocales
La fonación

La glotis es el orificio que controla el paso del aire a la altura de la laringe. ¿Cómo funciona la glotis? Dos **visiones esquemáticas superiores** (**Figs. 72** y 73) permiten entender su mecanismo.

El orificio glótico visto desde la faringe, es decir desde arriba, se presenta como una **hendidura triangular de vértice anterior** (**Fig. 72**). Sus dos bordes están constituidos por:

- las cuerdas **vocales inferiores 15**, que se extienden desde la **cara posterior del cartílago tiroides 3** a la apófisis anterior o **apófisis vocal 25**;
- los **cartílagos aritenoideos 24**, que descansan en sí mismos sobre **el cartílago cricoides 7**, mediante dos articulaciones cuyos ejes son verticales en O y O'.

La contracción de los **músculos cricoideos posteriores 13** hace girar los cartílagos aritenoideos sobre su eje O y O' y las apófisis vocales **25** se separan, lo que abre la glotis.

Por el contrario (**Fig. 73**), cuando los músculos **cricoaritenoideos laterales 16** se contraen, los cartílagos aritenoideos pivotan en el otro sentido. Las **apófisis vocales 25** se aproximan a la línea media y las **cuerdas vocales 15'** contactan la una con la otra, **cerrando así el orificio glótico.**

La figura parcial de las **cuerdas vocales** (**Fig. 74**) muestra que pasando de la apertura **15** al cierre **15'**, la cuerda vocal sufre un estiramiento **d** debido al desplazamiento (**flecha roja**) de la apófisis vocal 25, por rotación del cartílago aritenoideo **24**. Esta **mayor tensión de la cuerda** produce, **durante la fonación, un sonido más agudo.**

Las dos últimas figuras explican el **cierre de la glotis** (**Fig. 75**) y **la puesta en tensión de las cuerdas vocales** (**Fig. 76**) durante la fonación.

Una visión anteroizquierda (**Fig. 75**) del **cartílago cricoides 6** y del **cartílago aritenoides 8** muestra éste último en equilibrio sobre **la placa cricoidea 7**, a la que se articula por la **carilla aritenoidea 21**. El eje de esta **articulación cricoaritenoidea** tipo **artrodia** es oblicuo: de abajo arriba, de dentro afuera y de atrás adelante (sin representar).

Cuando el músculo **interaritenoideo 18** y el músculo **cricoaritenoideo posterior 14** se contraen (**Fig. 71**), el aritenoides gira hacia fuera (**en su posición azul oscuro, Fig. 75**) y su **apófisis vocal 25** se aleja de la línea media. La **cuerda vocal 15** forma con su opuesta un orificio triangular de vértice anterior (**Fig. 72**). De un modo inverso, la **contracción del cricoaritenoideo lateral 16** hace girar el aritenoides hacia dentro, lo que aproxima tanto la apófisis vocal como la **cuerda vocal 15'** a la línea media (**Fig. 73**).

Durante la fonación, las cuerdas vocales se ven sometidas a tensiones variables. El mecanismo es fácil de entender: en la figura (**Fig. 74**), puede apreciarse que el cierre de la glotis conlleva un estiramiento de la cuerda vocal, pero además (**Fig. 76**), suponiendo el cartílago cricoides **6** fijo, la **contracción del músculo cricotiroideo 17** hace girar el cartílago tiroides en torno a la **articulación de su cuerno menor con el cricoides 5**, y su parte anterior desciende. La inserción anterior de la cuerda vocal **pasa de la posición 26 a la posición 26'**, lo cual determina un alargamiento de la cuerda vocal, que se tensa debido a la contracción del músculo **cricotiroideo 17'**. Este músculo inervado por el **nervio laríngeo inferior**, o nervio recurrente, es pues, el **músculo más importante de la fonación**, puesto que regula la tensión de las cuerdas vocales y, en consecuencia, la altura del sonido.

Existen pues dos mecanismos que regulan la tensión de las cuerdas vocales:

- el cierre del orificio glótico por contracción del músculo cricoaritenoideo lateral;
- la báscula anterior del cartílago tiroides por contracción del músculo cricotiroideo.

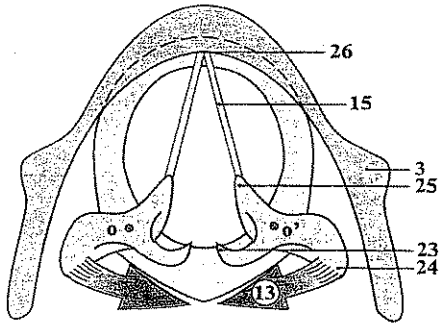


Fig. 72

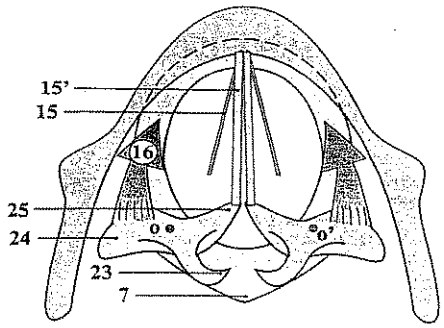


Fig. 73

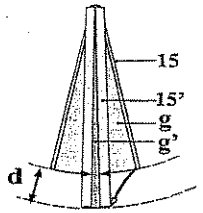


Fig. 74

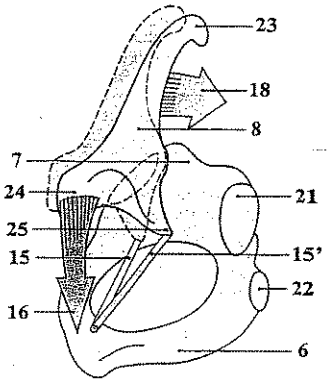


Fig. 75

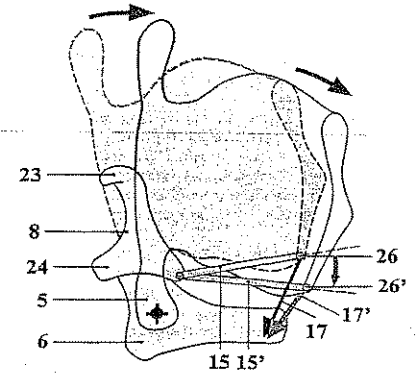


Fig. 76

Capítulo 5

EL RAQUIS CERVICAL

El raquis cervical es el segmento superior del raquis: es la prolongación del raquis torácico, y sujeta la cabeza a la par que constituye el **esqueleto del cuello.** Es la parte **más móvil** del raquis. Tiene como función **orientar la cabeza** en un sector del espacio de aproximadamente 180°, tanto en sentido vertical como en sentido transversal. Es necesario recalcar que **esta movilidad se añade a la de los globos oculares.** De hecho, la cabeza como soporte de los principales captores sensoriales como la **visión,** el **oído** y el **olfato,** debe poder localizar las amenazas potenciales contra el individuo y también sus puntos de interés para su subsistencia.

El **plano sagital de la cabeza define dos hemiespacios,** el derecho y el izquierdo, cuyos estímulos deben estar separados para poder establecer la **estéreo-visión** y la **estéreo-audición,** que proporcionan informaciones indispensables para la localización de las amenazas o de los puntos de interés. En este sentido, el cuello es el equivalente a esos soportes de radar que peinan el espacio mediante rotación continua. La única diferencia es que el cuello no puede efectuar una rotación de más de 170-180°, lo que ya es bastante relevante en relación a los animales que no tienen cuello, como los peces por ejemplo, que se ven obligados, a pesar de la gran movilidad de sus ojos, a girar su cuerpo entero para orientar sus receptores.

Puesto que el raquis cervical es el segmento más móvil del raquis, también es el **más frágil,** no sólo debido a su movilidad, sino también a la ligereza de sus estructuras, puesto que lo único que sujetan es la cabeza, cuyo peso es relativamente ligero, excepto cuando ella misma sirve de soporte para pesadas cargas, como es el caso de algunas poblaciones.

La gracilidad del cuello, muy estética en las mujeres, hace de éste **la parte más expuesta del cuerpo humano,** muy favorable para las maniobras homicidas por torsión o sección. Así pues, es necesario manipular el raquis cervical con mucha precaución **tras un accidente.** Esto también es aplicable a todas las terapias que abordan este segmento del raquis...

El raquis cervical en conjunto

Considerado en conjunto (**Fig. 1**), el raquis cervical está constituido por **dos partes anatómica y funcionalmente distintas**:

- **el raquis cervical superior 1**, también denominado **raquis suboccipital**, que contiene la primera vértebra cervical o **atlas**, y la segunda vértebra cervical o **axis**. Estas piezas esqueléticas están unidas entre sí además de con el hueso **occipital** por una compleja cadena articular con **tres ejes y tres grados de libertad**;
- **el raquis cervical inferior 2**, que se extiende desde la meseta inferior del **axis** hasta la meseta superior de la **primera vértebra torácica**.

Las vértebras cervicales son todas del mismo tipo, excepto el atlas y el axis, que difieren entre sí y de las demás vértebras cervicales. Las articulaciones del raquis cervical inferior poseen **dos tipos de movimientos**:

- por una parte, movimientos de **flexoextensión**;
- y por otra, **movimientos mixtos de inclinación-rotación**, pero no movimientos puros ni de inclinación ni de rotación.

Funcionalmente estos dos segmentos del raquis cervical se **complementan entre sí** para realizar **movimientos puros de rotación, de inclinación o de flexoextensión** de la cabeza.

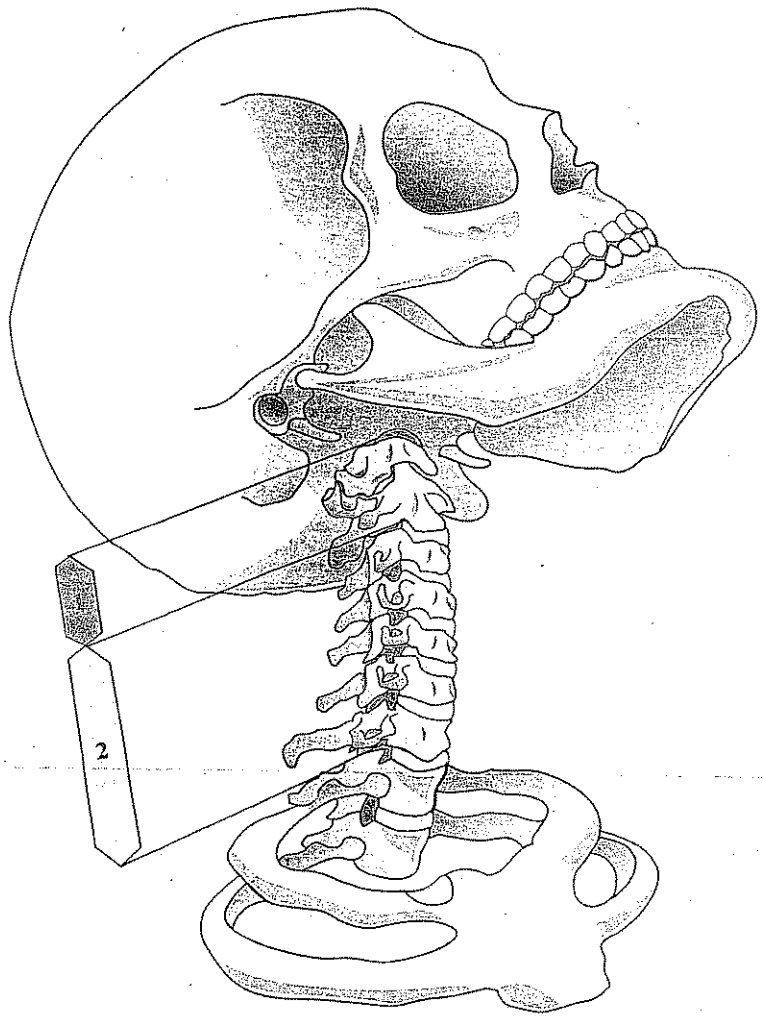


Fig. 1

Constitución esquemática de las tres primeras vértebras cervicales

En estas figuras se han representado, una debajo de la otra, en el mismo eje vertical y de forma muy esquemática:

- el atlas (**Fig. 2**);
- el axis (**Fig. 3**);
- y la tercera vértebra cervical (**Fig. 4**).

El atlas

El atlas (Fig. 2), **anillo** más ancho transversal que sagitalmente, contiene **dos masas laterales** 1 y 1' ovaladas, de eje mayor oblicuo hacia delante y hacia dentro:

- con una **carilla articular superior** 2 y 2' orientada hacia arriba y hacia dentro, **cóncava en los dos sentidos** y articulada con los cóndilos del occipital;
- y una **carilla articular inferior** que se dirige hacia abajo y hacia dentro, **convexa de delante atrás** y articulada con la carilla superior del axis 12 y 12'.

El **arco anterior del atlas** 3 tiene por cara posterior una **carilla cartilaginosa ovalada** 4 que se articula con la **apófisis odontoides del axis 11**. El **arco posterior** 5 en principio plano de arriba abajo, se ensancha por detrás en la línea media, en la que no existe apófisis espinosa, sino una simple **cresta vertical** 6. Las **apófisis transversas** 7 y 7' están agujereadas para dar paso a la **arteria vertebral** 8, que excava una **profunda corredera** 8' por detrás de las masas laterales.

El axis

El axis (Fig. 3) presenta un **cuerpo vertebral** 9 cuya **cara superior** 10 recibe en su centro la **apófisis odontoides** 11, también denominada diente del axis, y que sirve de pivote a la articulación atlantoaxial; esta cara superior también da soporte a **dos carillas articulares** 12 y 12' a modo de hombreras, que sobresalen lateralmente por fuera del cuerpo vertebral y están orientadas hacia arriba y hacia fuera; son **convexas de delante atrás y planas transversalmente.**

El **arco posterior** 16 está constituido por **dos estrechas láminas** 15 y 15', oblicuas hacia atrás y hacia dentro. La **apófisis espinosa** 18 comporta dos tubérculos, como el resto de las espinosas cervicales. Por debajo del **pedículo** 16 se fijan las apófisis **articulares inferiores** 17 y 17' con unas carillas cartilaginosas orientadas hacia abajo y hacia delante y que se articulan con las **carillas superiores** de la tercera vértebra cervical 24 y 24'. Las **apófisis transversas** 13 y 13' presentan un **orificio vertical** 14 por el que asciende la **arteria vertebral.**

La tercera vértebra cervical

La tercera vértebra cervical (Fig. 4) es parecida a las cuatro últimas vértebras cervicales; por lo tanto, se trata de una **vértebra cervical tipo.** Posee **un cuerpo vertebral** 18, paralelepípedo rectangular transversalmente; su cara superior comporta una **meseta vertebral superior** 20 limitada lateralmente por los **ganchos del cuerpo** 22 y 22', cuya carilla está orientada hacia arriba y hacia dentro y se articula con las superficies situadas a ambos lados de la meseta inferior del axis.

El borde anterior de la meseta vertebral superior también posee una **superficie** 21 orientada hacia arriba y hacia delante, que se articula con la cara posterior de un pico que prolonga el borde anterior de la vértebra suprayacente, en este caso el axis.

La **meseta vertebral inferior**, prolongada hacia delante y hacia abajo por un pico prominente, está bordeada a cada lado por **dos carillas de la articulación uncovertebral**, orientadas hacia abajo y hacia fuera.

El **arco posterior** lo forman las **apófisis articulares** 23 y 23' que contiene cada una de ellas:

- una **carilla superior** 24 y 24' que se dirige hacia arriba y hacia atrás y se articula con la **carilla inferior de la vértebra suprayacente**, en este caso la carilla inferior del axis 17;
- y una **carilla inferior**, invisible en la figura, orientada hacia abajo y hacia delante y que se articula con la **carilla superior** de la cuarta vértebra cervical.

Estas apófisis articulares están unidas al cuerpo vertebral por el **pedículo 25**, el cual soporta en parte la **base de la apófisis transversa 26 y 26'** que se fija también en la **cara lateral del cuerpo vertebral**. Ésta tiene forma de **corredera de concavidad superior**, cuyo fondo, próximo al cuerpo vertebral, presenta un **orificio redondeado 29** por el que asciende la **arteria vertebral**. Por último, se acaba en **dos tubérculos**, uno anterior y otro posterior. Las **dos láminas vertebrales** 27 y 27', cuyo plano es oblicuo hacia abajo y hacia fuera, se unen en la línea media para dar origen a la **apófisis espinosa** 28, que contiene dos tubérculos.

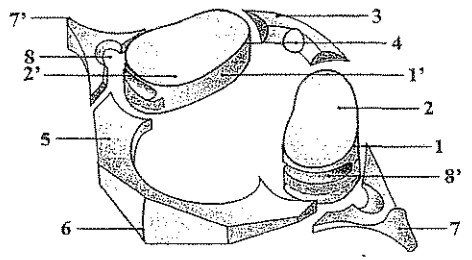


Fig. 2

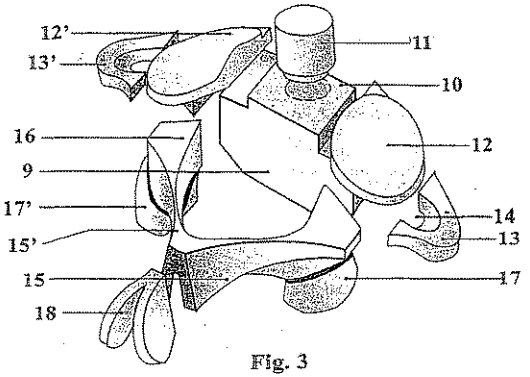


Fig. 3

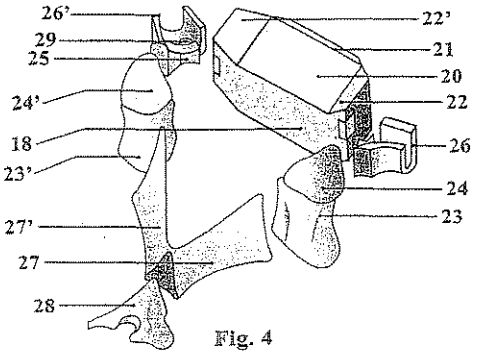


Fig. 4

Las articulaciones atlantoaxiales

La unión mecánica entre el atlas y el axis está garantizada por **tres articulaciones mecánicamente conectadas**:

- una articulación axial, la **atloidoodontoidea**, a la que la **apófisis odontoides** sirve de **pivote** (*véase* pág. 190);
- dos articulaciones laterales y simétricas, las **atlantoaxiales laterales**, que establecen el nexo entre la **cara inferior de las masas laterales del atlas** y las **superficies articulares superiores del axis**.

En una **visión en perspectiva del axis** (**Fig. 5**) y en una **visión de perfil** (**Fig. 6**), se aprecian tanto la forma como la orientación de esta **carilla articular superior** 5 ovalada de eje mayor anteroposterior, convexa de delante atrás siguiendo una curva xx', pero rectilínea en sentido transversal, de modo que se la puede considerar como tallada en la **superficie de un cilindro** (C) cuyo **eje** (Z) se dirigiría hacia fuera y ligeramente hacia abajo, de tal manera que la carilla esté orientada hacia abajo y ligeramente hacia fuera. El cilindro, en el que están talladas las dos carillas, representado transparente, engloba la parte lateral del axis; **cuyo extremo distal de la apófisis transversa sobrepasa.**

También se observa en estas dos figuras la forma tan peculiar de la **apófisis odontoides**, casi cilíndrica, aunque encorvada hacia atrás, y que contiene:

- por delante, una **carilla articular** 1 en forma de escudo, **ligeramente convexa en ambos sentidos** y que se articula con la carilla del **arco anterior del atlas**;
- por detrás, **una corredera** 7 cóncava de arriba abajo y convexa transversalmente con una cubierta cartilaginosa, que se articula con el **ligamento transverso** (*véanse* págs. 194 y 196) cuya funcionalidad es de gran importancia.

Un **corte parasagital** en las **masas laterales del atlas** (**Fig. 7**) muestra las curvas y orientaciones de las distintas superficies articulares:

- la curva de la **articulación atloidoodontoidea**, con su **carilla odontoidea** 1 y la **carilla del arco anterior del atlas** 2 (éste se ha seccionado por el plano sagital medio), situada en un **círculo de centro Q** por detrás de la apófisis odontoides;
- la **carilla superior de las masas laterales del atlas** 3 es cóncava de delante atrás y se dirige directamente hacia arriba. Se articula con los **cóndilos del hueso occipital**;
- la **carilla inferior de las masas laterales del atlas** 4 es convexa de delante atrás en un **círculo de centro O** y de radio de curva relativamente corto en relación al del círculo Q;
- la **carilla superior del axis** 5 es convexa de delante atrás en una **curva de centro P** con un radio **casi igual** al del círculo O. Por lo tanto, las dos superficies 4 y 5 reposan como **dos ruedas, la una sobre la otra**; la estrella representa el centro del movimiento de flexoextensión del atlas sobre el axis (*véase* pág. 194);
- por último, la **carilla inferior del axis** 6 está orientada hacia abajo y hacia delante. Es casi plana, aunque presenta una ligera curva de **radio mayor cuyo centro R está situado** por debajo y por delante. Se articula con la carilla superior de las apófisis articulares de la tercera vértebra cervical.

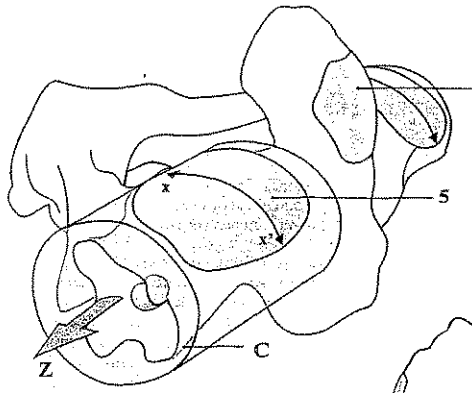


Fig. 5

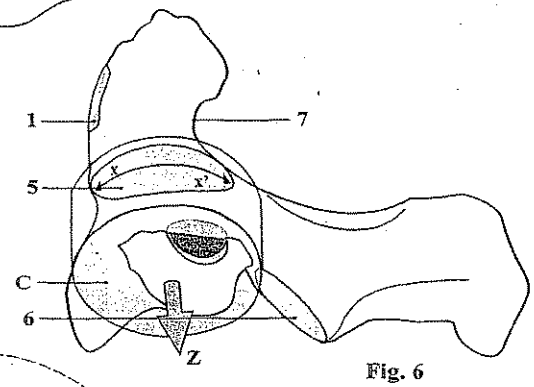


Fig. 6

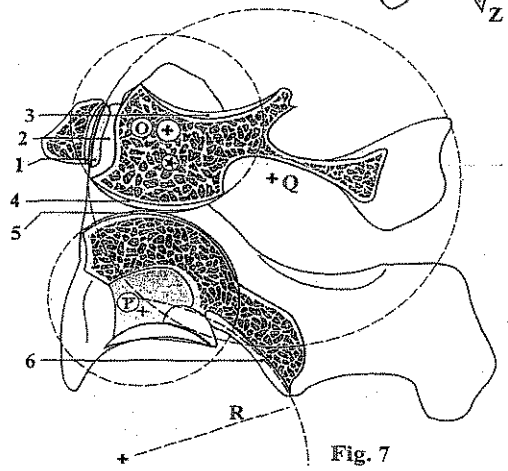


Fig. 7

La flexoextensión en las articulaciones atlantoaxiales y atloidoodontoideas

Suponiendo que, durante la **flexión** (**Fig. 8**), las masas laterales del atlas rueden sin deslizarse sobre las superficies superiores del axis, el **punto de contacto entre** estas dos superficies convexas se desplazaría **hacia delante** y la línea que une el centro de la curva **P** al punto de contacto de estas dos superficies se desplazaría de PA a PA'. Simultáneamente, se podría apreciar un **bostezo b** hacia arriba en la articulación entre el arco anterior del atlas y la carilla anterior de la apófisis odontoides.

Del mismo modo, durante la **extensión** (**Fig. 9**), si las masas laterales del atlas rodasen sin deslizarse sobre las superficies superiores del axis, el punto de contacto entre estas dos superficies convexas debería desplazarse **hacia atrás** y la línea que une el centro de la curva **P** al punto de contacto debería desplazarse de **PB a PB'**. Al mismo tiempo, aparecería un **bostezo** inferior b en la articulación entre el arco anterior del atlas y la superficie anterior de la apófisis odontoides.

En realidad, el **examen atento de las radiografías de perfil** muestra que este **bostezo no existe** (**Fig. 10**). Esto se debe a la presencia del **ligamento transverso** (**T**) que mantiene el arco anterior del atlas estrechamente unido a la apófisis odontoides (*véase* pág. 196).

El centro real del movimiento de flexoextensión del atlas sobre el axis no es pues (*véase* Fig. 7 pág. 193) ni el punto **P**, centro de la curva de la superficie superior del axis, ni el punto **Q**, centro de la curva de la carilla anterior de la apófisis odontoides, sino **un tercer punto**, representado en la figura por una **estrella** y que se proyecta casi en el centro de la apófisis odontoides vista de perfil. En consecuencia, durante el movimiento de flexoextensión, la carilla inferior de las masas laterales del atlas **rueda y se desliza al mismo tiempo** sobre la superficie superior del axis, exactamente como los cóndilos femorales ruedan y se deslizan simultáneamente sobre las cavidades glenoideas de la tibia.

Sin embargo, es preciso recalcar la existencia de un elemento deformable, en este caso el ligamento transverso, que constituye la **parte posterior de la articulación atloidoodontoidea**, y que permite cierta flexibilidad en el funcionamiento de esta articulación: este ligamento, incrustado en la corredera posterior de la apófisis odontoides puede incurvarse bien hacia arriba durante la extensión, bien hacia abajo durante la flexión, como si se tratase de la cuerda de un arco. También se puede entender por qué la cavidad receptora de la apófisis odontoides no es totalmente ósea. Asimismo, se pueden aducir razones similares en el caso del ligamento anular de la articulación radiocubital superior, que también es una articulación trocoide (*véase* Tomo 1).

Sea como fuere, este ligamento transverso desempeña una **función vital**, ya que impide el deslizamiento hacia delante del atlas sobre el axis. Esta luxación, que no puede ser más que traumática, es **mortal de inmediato** por compresión del tronco cerebral y del bulbo raquídeo por la apófisis odontoides (**Fig. 11**): debido al desplazamiento hacia delante del atlas (**flecha roja**), la apófisis odontoides se empotra literalmente (**flecha negra**) en el eje nervioso representado en azul claro.

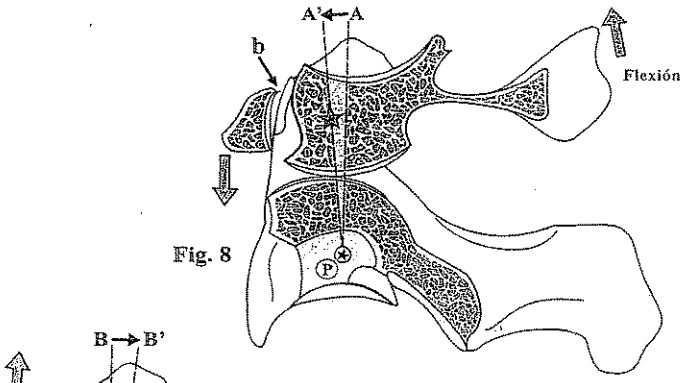


Fig. 8

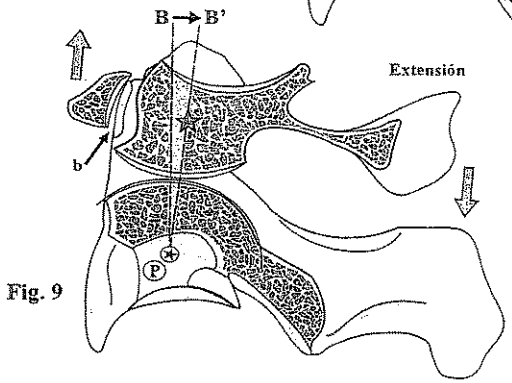


Fig. 9

Fig. 11

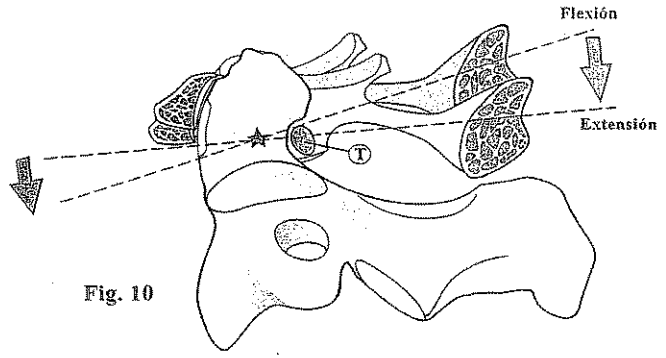


Fig. 10

Rotación en las articulaciones atlantoaxiales lateral y media

Se acaba de exponer la articulación atlantoaxial en un corte de perfil. Una **visión superior con el atlas en conjunto** (Fig. 12) y en **primer plano** (Fig. 13) permite entender su estructura y funcionamiento durante la rotación.

La **articulación atlantoaxial** media es una **trocoide** con **dos superficies cilíndricas** encajadas la una sobre la otra:

- una superficie cilíndrica maciza, la **apófisis odontoides 1**, cuya forma no es totalmente cilíndrica, de modo que se puede adaptar a un segundo grado de libertad, a los **movimientos de flexoextensión**. Esta apófisis odontoides presenta en su cara anterior una **carilla articular 4** y en su cara posterior **otra carilla articular 11**;
- la cavidad que recibe este cilindro macizo es un **cilindro hueco** que rodea totalmente la apófisis odontoides y que está formado por delante por el **arco anterior del atlas 2**, y, a los lados, por **las masas laterales del atlas** que comportan en su cara interna un tubérculo muy pronunciado 7 y 7' en el que se fija un potente ligamento que se extiende transversalmente por detrás de la apófisis odontoides: el **ligamento transverso del atlas 6**.

Por lo tanto, la apófisis odontoides está incrustada en el interior **de un anillo osteoligamentoso**, con el que contacta a través de **dos articulaciones** diferentes:

- **por delante**, una articulación de **tipo sinovial** con una **cavidad articular 5** y una **cápsula sinovial con dos pliegues**, uno a la izquierda **8** y otro a la derecha 9. Pone en contacto **la carilla anterior de la apófisis odontoides 4** y la **carilla posterior del arco anterior del atlas 3**;
- **por detrás**, una articulación carente de cápsula, situada en el interior de un tejido celuloadiposo **10** que llena el espacio entre el anillo osteoligamentoso y la apófisis odontoides. Pone en contacto **dos superficies fibrocartilaginosas**, una en la cara posterior de la apófisis **odontoides 11** y la otra en la **cara anterior del ligamento transverso del atlas 12**.

Durante el **movimiento de rotación**, hacia la izquierda por ejemplo, (**Fig. 13**), la **apófisis odontoides 1** permanece fija y el **anillo osteoligamentoso**, formado por el atlas y el ligamento transverso **gira en sentido inverso a las agujas de un reloj** alrededor de un centro que corresponde al **eje de la apófisis odontoides**, señalado en la figura con una cruz blanca, la cápsula articular se **distiende a la izquierda 8** y se **tensa a la derecha 9**.

Simultáneamente, existe un **desplazamiento en las dos articulaciones atlantoaxiales derecha e izquierda**, mecánicamente unidas: en la rotación de la izquierda hacia la derecha (**Fig. 14**) la masa lateral izquierda del atlas avanza (**flechas**), mientras que la masa lateral derecha retrocede. Durante la rotación de la derecha hacia la izquierda (**Fig. 15**), sucede a la inversa (**flecha azul D-I y roja I-D**).

Pero como las superficies superiores del axis son **convexas de delante atrás** (**Fig. 16**), el trayecto descrito por las masas laterales del atlas no es rectilíneo en un plano horizontal, sino **curvilíneo de convexidad superior** (**Fig. 17**): cuando el atlas gira en torno al eje **vertical W**, sus masas laterales describen el trayecto XX' o YY'.

Si se representa únicamente el círculo que contiene **la curva de la carilla inferior de las masas laterales del atlas** (**Fig. 16**), se puede constatar que, en su posición media correspondiente a la rotación neutra, el círculo de centro O ocupa su **situación más elevada** en la superficie superior del axis. Cuando se desplaza hacia adelante, este círculo "desciende" **por la vertiente anterior de la superficie superior del axis** de 2 a 3 mm, mientras que su centro sólo desciende la mitad (e dividido por 2). Durante el desplazamiento hacia atrás se produce el mismo fenómeno.

Durante su rotación sobre el axis, el atlas se desplaza entonces verticalmente **hacia abajo de 2 a 3 mm**, aunque su movimiento es **helicoide**. Pero el **paso** de esta hélice es muy pequeño, y, por otro lado, existen dos hélices: una en la rotación hacia la derecha y otra de **paso inverso** en la rotación hacia la izquierda.

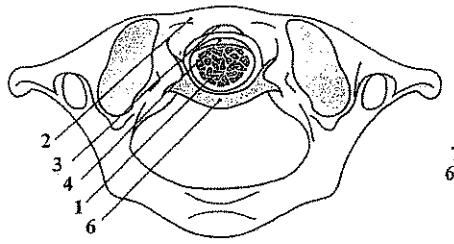


Fig. 12

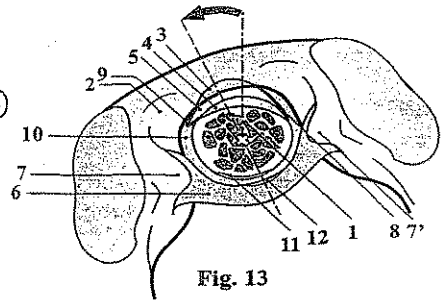


Fig. 13

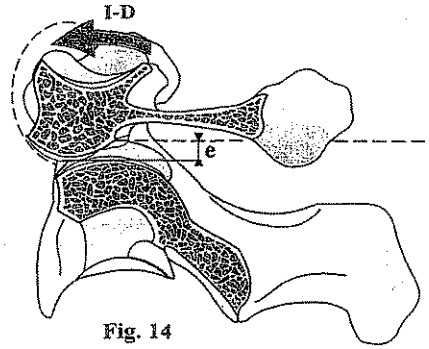


Fig. 14

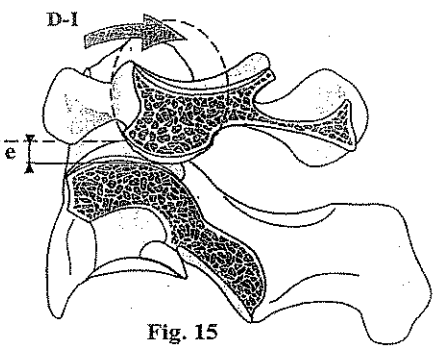


Fig. 15

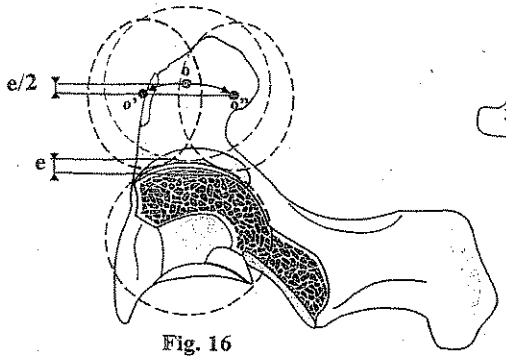


Fig. 16

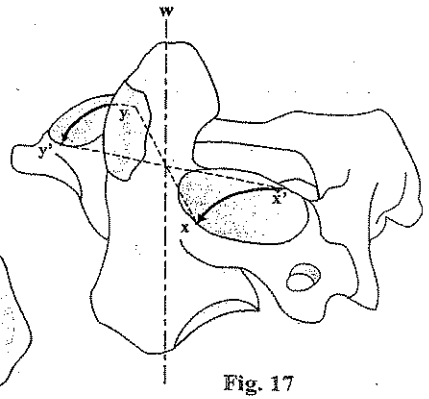


Fig. 17

Las superficies de la articulación atlantooccipital

En realidad, existen **dos articulaciones atlantooccipitales**, mecánicamente unidas, pares y simétricas, que relacionan las **carillas superiores de las masas laterales del atlas** con las **superficies de los cóndilos occipitales.**

En una visión superior del atlas (Fig. 18), las carillas atlantoideas **son ovaladas de eje mayor oblicuo hacia delante y hacia dentro**, que convergen en un punto N, localizado en la línea media algo por delante del arco anterior del atlas. A veces están retraídas en su parte media, e incluso pueden estar cada una separadas en dos carillas distintas. Cubiertas de cartílagos, son **cóncavas en ambos sentidos** y la curva es **casi idéntica tanto en un sentido como en otro**. Por lo tanto, se puede considerar que están comprendidas en la **superficie de una esfera** (Fig. 19) cuyo centro O se situaría por encima del plano de las superficies articulares y se proyectaría en la intersección del eje de simetría y de la línea que une el borde posterior de las dos carillas articulares. Por otra parte, el punto Q representa el **centro de la curva de las citadas carillas articulares en el plano secante horizontal**; el punto P es el **centro de la curva de las mismas en el plano secante vertical.** La figura muestra entonces la esfera (**trazos verdes**), supuestamente transparente, apoyándose exactamente sobre las superficies articulares superiores de las masas laterales del atlas.

Una **visión posterior de las articulaciones atlantooccipitales** (Fig. 20), confirma que la curva de las superficies condíleas occipitales está situada en la misma superficie esférica cuyo **centro O** se halla en el interior del cráneo, por encima del agujero occipital. La articulación atlantooccipital puede entonces considerarse **como una enartrosis**, es decir, como una articulación de **superficie esférica** (Fig. 19) con **tres ejes** pero de poca amplitud:

- **rotación axial** en torno a un eje vertical QO;
- **flexoextensión** en torno a un eje transversal zz' que pasa por el centro O;
- **inclinación lateral** en torno a un eje anteroposterior PO.

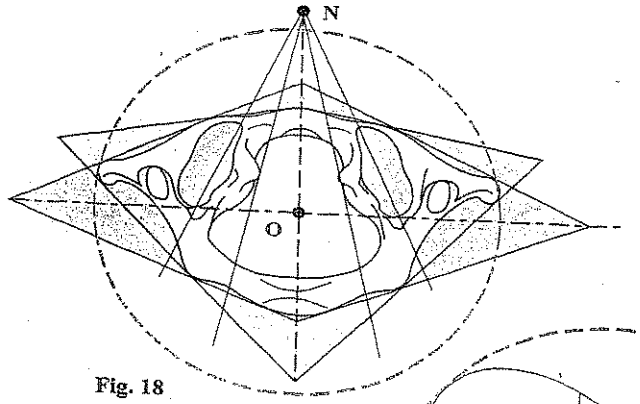


Fig. 18

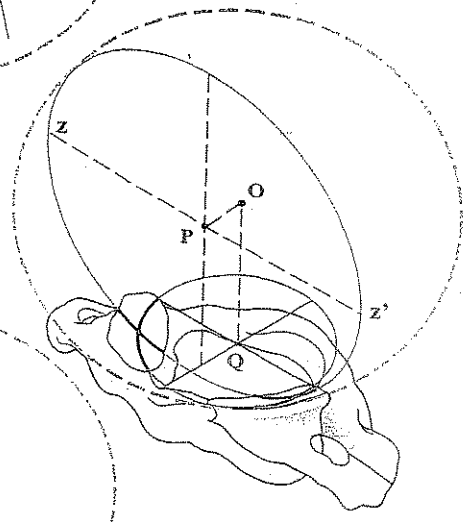


Fig. 19

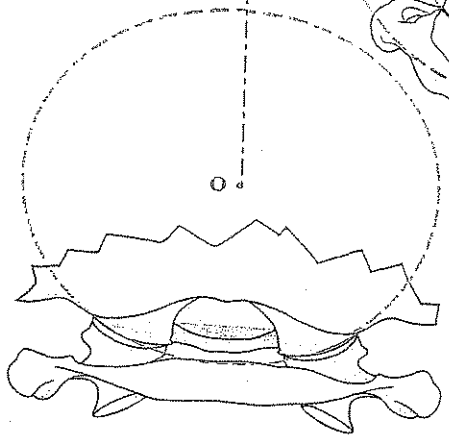


Fig. 20

La rotación en las articulaciones atlantooccipitales

Cuando el **hueso occipital gira sobre el atlas** (**Fig.** 21), participa en un movimiento general de rotación del atlas sobre el axis, que se efectúa en torno al eje vertical que pasa por el centro de la apófisis odontoides. Sin embargo, esta rotación no es un fenómeno sencillo, ya que hace intervenir la **tensión de los ligamentos**, y en particular, la tensión del **ligamento alar** (L) (**flecha verde**): en este esquema en el que se han seccionado el **hueso occipital** (A) y las **masas laterales del atlas** (B) mediante un corte verticofrontal, se ha representado una rotación hacia la izquierda del hueso occipital sobre el atlas. Este movimiento se traduce por el deslizamiento hacia delante del cóndilo derecho del hueso occipital sobre la masa lateral derecha del atlas (**flecha roja 1**), pero, simultáneamente, el **ligamento alar** (L) **se enrolla** alrededor de la apófisis odontoides y se **tensa**. Esta tensión **va ha desplazar hacia la izquierda al cóndilo derecho del hueso occipital** (**fecha blanca 2**).

Por lo tanto, la **rotación hacia la izquierda** (**flecha azul**) se acompaña, al mismo tiempo, de un **desplazamiento hacia la izquierda de 2 a 3 mm** y de **una inclinación del hueso occipital hacia la derecha** (**flecha roja**). Por consiguiente, no existe una rotación pura, sino **una rotación asociada a una traslación y a una inclinación** en la citada articulación atlantooccipital.

Ahora bien, se sabe a través de la cinemática que una **rotación asociada y una traslación equivale a otra rotación** con el mismo ángulo, pero con distinto centro y fácil de construir. En una **visión superior** (**Fig.** 22) se ha representado el atlas de color claro, el axis, de color más oscuro, se ve a través del agujero occipital y, sobre la **carillas laterales del atlas at, las carillas de los cóndilos occipitales oc** supuestamente transparentes. Durante los movimientos de rotación hacia la izquierda, en un ángulo a en torno al **centro de la apófisis odontoides O**, se puede observar un desplazamiento lateral hacia la izquierda del hueso occipital de 2 a 3 mm, siguiendo el **vector V**. Resulta entonces fácil de construir el centro real de la rotación en un punto **P**, situado **ligeramente a la izquierda** del plano de simetría y en la línea z que une el borde posterior de las superficies de las masas laterales del atlas. Por lo tanto, el **centro real de la rotación** atlantooccipital se desplaza entre dos puntos extremos, el **punto P** en el caso de la rotación hacia la izquierda y **su simétrico P'** en el caso de la rotación hacia la derecha. De paso, cabe recalcar el interés de este dispositivo que hace retroceder hacia el centro del agujero occipital el centro real de la rotación, de tal modo, que el eje real del movimiento de rotación corresponde al eje anatómico del bulbo raquídeo, que es la mejor posición posible para la torsión del eje nervioso.

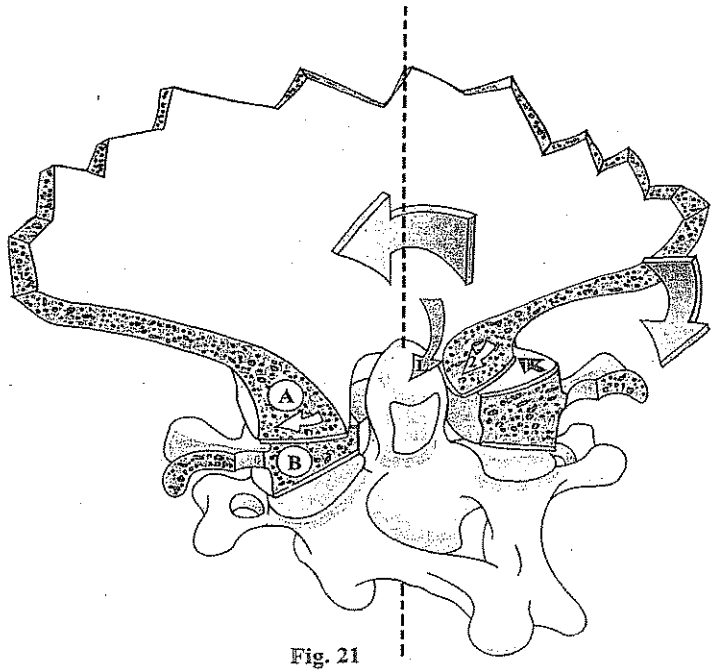


Fig. 21

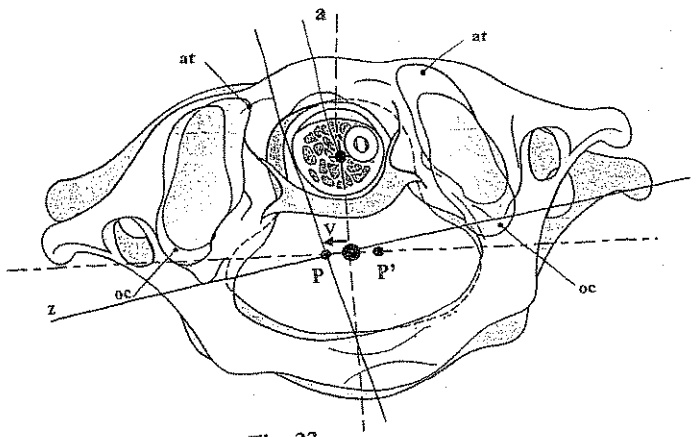


Fig. 22

La inclinación lateral y la flexoextensión en la articulación atlantooccipital

Un **corte verticofrontal** (**Fig. 23**) del hueso occipital, del atlas, del axis y de la tercera cervical muestra que durante la **inclinación lateral**, no existe **ningún desplazamiento en la articulación atlantoaxial**. La inclinación se efectúa **únicamente entre el axis y la tercera vértebra cervical**, por una parte, y, por otra, **entre el hueso occipital y el atlas**. Entre estos dos últimos existe **poca amplitud** que se traduce por un **deslizamiento de los cóndilos occipitales** hacia la derecha en la inclinación hacia la izquierda y viceversa. En este caso se ha representado una inclinación hacia la izquierda que muestra como el cóndilo occipital izquierdo **se aproxima a la apófisis odontoides** pero sin contactar con ella, ya que el movimiento está **limitado por la tensión de la cápsula de las articulaciones atlantooccipitales** y, sobre todo, por el **ligamento alar** derecho. La **inclinación total** entre el hueso occipital y la tercera cervical es de 8°, que se reparten en 5° entre el axis y C3, y 3° entre el hueso occipital y el atlas.

Los **movimientos de flexoextensión del hueso occipital sobre el atlas** se llevan a cabo mediante el deslizamiento de los cóndilos occipitales sobre las masas laterales del atlas.

Durante la flexión (**Fig. 24**), los cóndilos occipitales retroceden sobre las masas laterales del atlas; simultáneamente, se puede observar como la **concha occipital se aleja** del arco posterior del atlas (**flechas rojas**) y como este movimiento se acompaña siempre de una **flexión en la articulación atlantoaxial**, también se ve como el arco posterior del atlas se aleja del arco posterior del axis mientras que el arco anterior del atlas se desliza hacia abajo sobre la cara anterior de la apófisis odontoides (**flecha roja**). La flexión está limitada por **la puesta en tensión de las cápsulas y de los ligamentos posteriores** (membrana atlantooccipital y el ligamento nucal).

Durante la extensión (**Fig. 25**), los cóndilos occipitales se deslizan hacia delante sobre las masas laterales del atlas. Simultáneamente, la concha occipital **se dirige hacia el arco posterior del atlas** (**flecha azul**) y como también existe una **extensión en la articulación atlantoaxial**, el arco posterior del atlas **se aproxima al arco posterior del axis** (**flecha azul**). La extensión se ve limitada por el **contacto de estos tres elementos óseos**; durante los **movimientos de extensión forzada**, el arco posterior del atlas apresado como en un cascanueces puede **quebrarse entre el hueso occipital y el arco posterior del axis**. La amplitud total de la **flexoextensión en la articulación atlantooccipital es de 15°**.

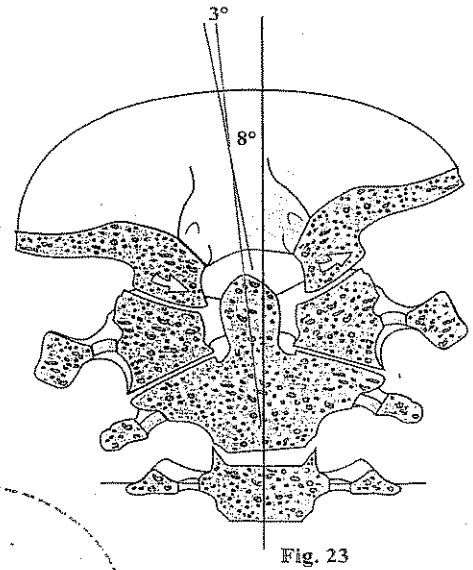


Fig. 23

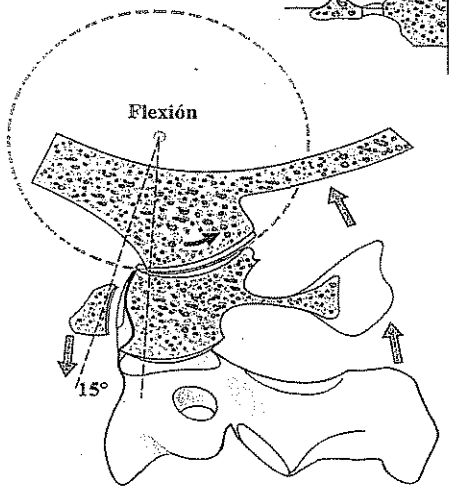


Fig. 24

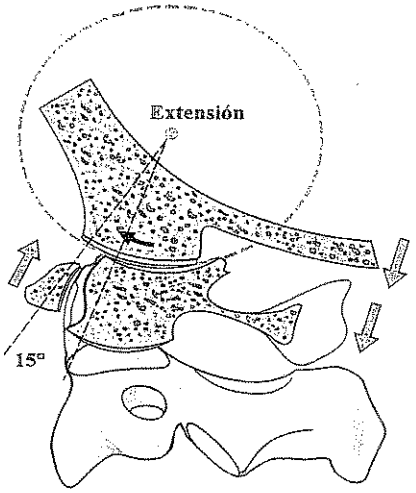


Fig. 25

Los ligamentos del raquis suboccipital

Los ligamentos del raquis suboccipital, muy numerosos y potentes, son visibles en un corte sagital (**Fig. 26**) donde el eje nervioso se ha representado transparente: tronco cerebral y bulbo raquídeo T, médula espinal M. Los números de las leyendas son comunes hasta la figura 34 inclusive.

En primer lugar se van a emplazar los elementos óseos, de arriba abajo:

- el corte de la **apófisis basilar del hueso occipital** a hasta la **concha occipital** b;
- el corte del arco anterior e del atlas y de su arco posterior f;
- el corte sagital de la **apófisis odontoides** g y del axis k;
- en la apófisis odontoides, la carilla articular anterior h en contacto con la carilla articular posterior i del arco anterior del atlas;
- el resto del **axis** está representado por su espinosa n y el corte de su lámina izquierda o;
- por debajo del axis, la tercera vértebra cervical con su cuerpo vertebral **q**, su apófisis espinosa s y su lámina izquierda **r**;
- en perspectiva, la fosa cerebelosa, ocupada por el tronco cerebeloso y el bulbo raquídeo T, por encima del **agujero occipital**.

A continuación se van a situar los ligamentos:

- el **ligamento del vértice del axis 1**, muy corto y grueso, que se extiende verticalmente entre la apófisis basilar del occipital y el vértice de la apófisis odontoides;
- el **ligamento transverso** 3 visto en sección, en contacto con la carilla articular posterior de la apófisis odontoides;
- el **ligamento transversooccipital** 4, entre el borde superior del ligamento transverso y la apófisis basilar del hueso occipital;
- el **ligamento transversoaxial** 5, entre el borde inferior del ligamento transverso y la cara posterior del cuerpo del axis.
- Estos tres ligamentos: transverso, transversooccipital y transversoaxial forman el **ligamento cruciforme.**
- el **ligamento occipitoaxial medio** 7, por detrás del ligamento cruciforme, se extiende desde la apófisis basilar hasta la cara posterior del cuerpo del axis. Se prolonga lateralmente por los **ligamentos occipitoaxiales laterales**, invisibles en este corte;
- la **cápsula** de la articulación atlantooccipital 9;
- el **ligamento longitudinal posterior** 12, situado por detrás de los ligamentos occipitoaxiales medios y laterales, se inserta en la corredera de la apófisis basilar y sobre el borde inferior del axis y se prolonga por todo el raquis hasta el canal sacro;
- la **membrana atlantooccipital anterior**; localizada por delante del ligamento alar medio, formada por una lámina profunda 13 y una lámina superficial 14, se extiende desde la apófisis basilar al arco anterior del atlas;
- el **ligamento atlantoaxial anterior 16** prolonga hacia abajo el ligamento atlantooccipital anterior. Se extiende desde el borde inferior del arco del atlas hasta la cara anterior del cuerpo del axis. De este modo se constituye, por delante de la apófisis odontoides y del ligamento alar medio y por detrás de los ligamentos atlantooccipital medio y atlantoaxial medio, un espacio celuloadiposo que contiene la articulación atlantoodontoidea y su cápsula 17;
- el **ligamento longitudinal anterior 18** recubre todo este conjunto por delante y se inserta en la cara inferior de la apófisis basilar del hueso occipital, pasa a modo de puente por delante del arco anterior del atlas, en el que no se inserta, para fijarse luego en la cara anterior del cuerpo del axis **18'**. A continuación, se prolonga por toda la cara anterior del raquis hasta el sacro insertándose, en cada nivel, en el borde anterior de los discos intervertebrales d y en la cara anterior de los cuerpos vertebrales v.

Los arcos posteriores están unidos por los ligamentos que a continuación se exponen:

- el **ligamento atlantooccipital posterior 19**, que une el borde posterior del agujero occipital al arco posterior del atlas. Es el equivalente de un **ligamento amarillo 19'** y presenta por detrás de las masas laterales del atlas un orificio (C1) por el que penetra la arteria occipital y sale el primer nervio cervical;
- el **ligamento atlantoaxial posterior 21**, que une los arcos posteriores del atlas y del axis a modo de un ligamento amarillo. Por detrás de la articulación existe un orificio (C2) por el que sale el segundo nervio cervical;
- un **ligamento interespinoso** 22, une el arco posterior del atlas a la apófisis espinosa del axis, y luego, hacia abajo, las apófisis espinosas de las vértebras cervicales entre sí;
- el **ligamento nucal** 23, tabique fibroso muy espeso, equivale a un ligamento supraespinoso; que se inserta, por arriba, en la concha occipital, a la altura de la línea media, y separa las masas musculares de la nuca en dos mitades derecha e izquierda;
- la **cápsula** de la articulación cigapofisaria 24, entre el axis y la tercera cervical, limita por detrás el agujero de conjunción (C3), por el que sale el tercer nervio cervical;

un **ligamento amarillo** 29, que une el arco posterior del axis al arco posterior de la tercera vértebra cervical.

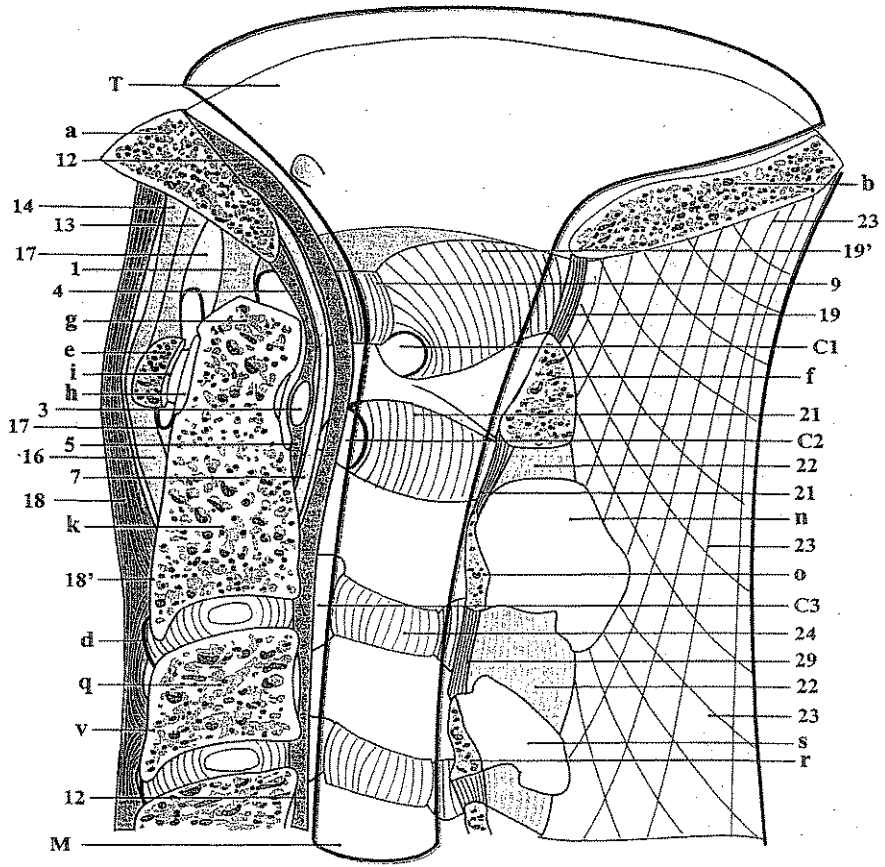


Fig. 26

Los ligamentos suboccipitales

Para entender la disposición de estos ligamentos, se ha representado en primer lugar, una **visión posterior del raquis cervical (Fig. 27)**, tras haber efectuado una sección verticofrontal a la altura de los arcos posteriores **f, t, r,** que han sido retirados. Se vuelven a encontrar los mismos elementos que en el corte de la página anterior. Además se pueden observar:

- la cara intracraneal de la concha occipital a con su corte **b**;
- los **cóndilos occipitales c**;
- las **masas laterales del atlas d** y su arco anterior e;
- las **articulaciones atlantoaxiales** con la carilla inferior de las masas laterales del atlas l y la carilla superior del axis m;
- la sección del pedículo y de la apófisis articular del axis t;
- la cara posterior del cuerpo del axis con, en la cara posterior de la apófisis odontoides, la carilla articular **h** con el ligamento transveso;
- la cara posterior del cuerpo de la tercera vértebra cervical **q** con el corte de sus láminas r.

En este plano esquelético se fijan los siguientes ligamentos.

En el **plano profundo (Fig. 28)**:
el ligamento del apex del axis **1**;
los dos **ligamentos alares 2**;

- el **ligamento transverso 3**, que se extiende lateralmente de una masa lateral del atlas a otra;
- el **ligamento occipitotransverso 4** se ha seccionado a ras del borde superior del ligamento transverso y desplazado hacia arriba;
- el **ligamento transversoaxoideo 5** también se ha seccionado y desplazado hacia abajo.

En el **plano medio (Fig. 29)** se distinguen:

- el **ligamento cruciforme** intacto **6**, constituido por los ligamentos transversos, occipitotransverso y transversoaxoideo;
- lateralmente aparece la cápsula de la **articulación atlantooccipital 9** reforzada por fuera por:
  - el ligamento atlantooccipital alar 10;
  - en el segmento subyacente, la cápsula de la articulación atlantoaxial **11**.

En el **plano superficial (Fig. 30)**, se localizan:

- el **ligamento occipitoaxial medio 7**, prolongado lateralmente por:
  - los ligamentos alares **8**;
  - el **ligamento longitudinal posterior 12**.

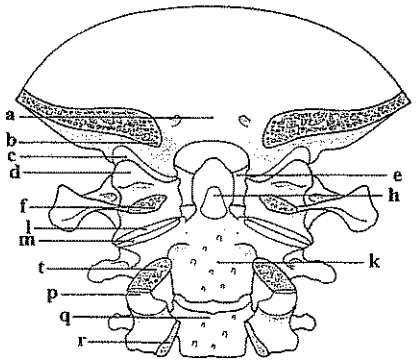


Fig. 27

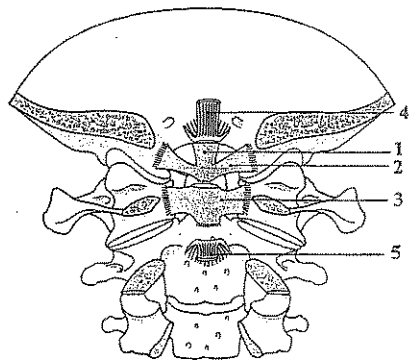


Fig. 28

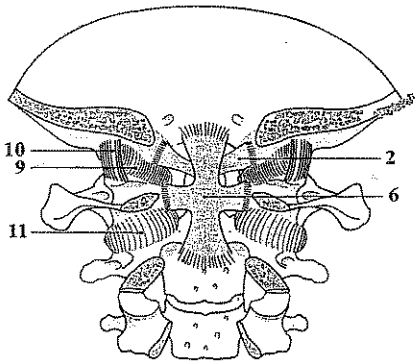


Fig. 29

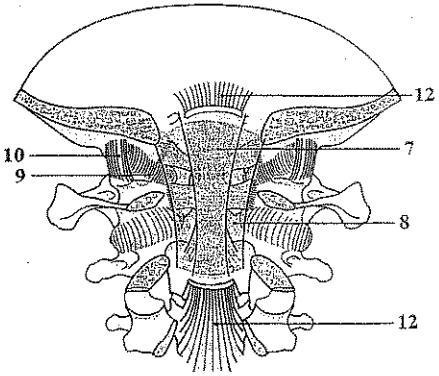


Fig. 30

Los ligamentos suboccipitales (continuación)

Las figuras 31 y 33 representan las visiones esqueléticas, mientras que en las figuras 32 y 34 se han añadido **los ligamentos**.

En una **visión esquelética anterior (Fig. 31)** se observan todos los elementos descritos anteriormente.

Los **ligamentos anteriores (Fig. 32)** comprenden:

- la **membrana atlantooccipital anterior** con su haz profundo **13** y su haz superficial **14**, que recubre la cápsula de la articulación atlantooccipital **9**;
- la **membrana atlantooccipital anterolateral 15** que lo cubre por delante; se extiende oblicuamente desde la apófisis basilar del occipital a la apófisis transversa del atlas;
- el **ligamento atlantoaxial anterior 16** que se localiza lateralmente a continuación de la cápsula de la articulación atlantoaxial **11**;
- el **ligamento longitudinal anterior 18** que sólo se ha representado en su mitad izquierda;
- la cápsula de la articulación entre el axis y la tercera vértebra cervical **23**.

Una **visión posterior de los elementos esqueléticos (Fig. 33)** muestra esta vez los arcos posteriores del atlas, del axis y de la tercera vértebra cervical. Entre los cuales se puede ver el canal raquídeo, y entre la concha del occipital y del atlas, el agujero occipital.

En la **visión posterior de los ligamentos (Fig. 34)**, se han representado en el **lado derecho** los ligamentos que recubren la cara anterior del canal raquídeo (representados con anterioridad en la Fig. 29):

- los ligamentos alares **7** y occipitoaxial lateral **8**;
- la cápsula de la articulación atlantooccipital **9** reforzada por la **membrana atlantooccipital lateral 10**.

Por último, puede observarse como asciende la **arteria vertebral** por los orificios de las apófisis transversas y como se incurva hacia atrás y luego hacia dentro para contornear por detrás la masa lateral del atlas **25**.

En el **lado izquierdo** se han representado los **ligamentos posteriores:**

- la **membrana atlantooccipital posterior 19**, recubierto por el ligamento atlantooccipital **20** que se extiende desde la concha occipital a la apófisis transversa del atlas;
- el **ligamento atlantoaxial posterior 21**;
- los **ligamentos interespinosos 22**, recubiertos por el ligamento nucal, y de los que sólo se ha representado su mitad izquierda;
- por último, la **cápsula** de la articulación entre el axis y la tercera vértebra cervical **24**;

También puede apreciarse el **primer nervio cervical 26** por el orificio de penetración de la arteria vertebral y el **segundo nervio cervical 27**, cuya rama posterior constituye el gran nervio occipital de Arnold.

La **rama posterior del tercer nervio cervical 28** emerge por el agujero de conjunción, es decir, por delante de la articulación **24**.

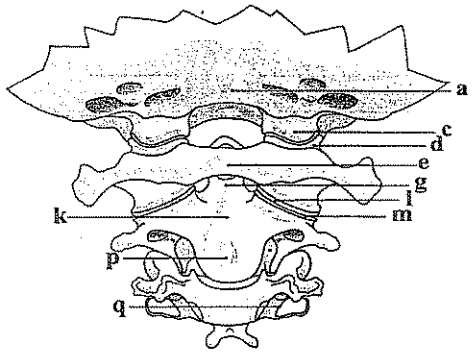


Fig. 31

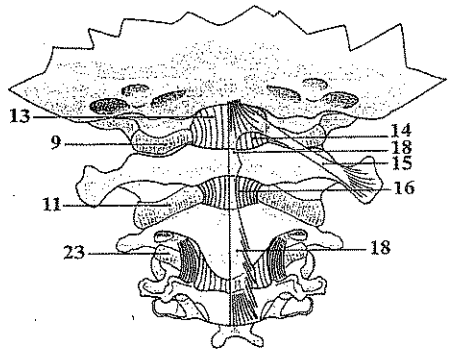


Fig. 32

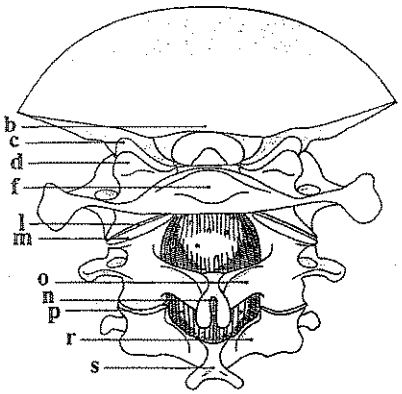


Fig. 33

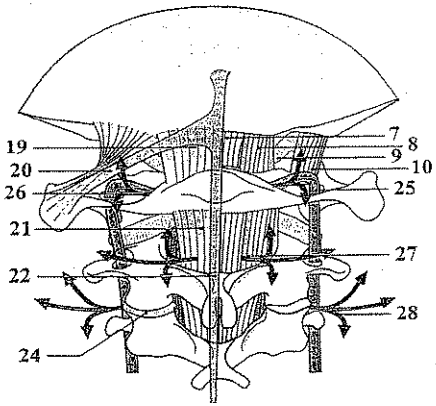


Fig. 34

Constitución de una vértebra cervical

Una **visión posterosuperior** de una vértebra cervical (**Fig. 35**) muestra sus diferentes partes constitutivas, representadas también en una visión "desarmada" (**Fig. 36**).

- El **cuerpo de la vértebra 1** con su **meseta superior 2**, tiene dos prominencias planas transversalmente a cada lado, las apófisis unciformes 3 y 3', entre las que se encajan las **carillas articulares** correspondientes a la meseta inferior de la vértebra superior. También se puede observar la **superficie 4** del reborde anterior de la meseta superior, así como el pico 5, que prolonga hacia abajo y hacia delante el borde anterior de la meseta inferior.

En conjunto, la meseta superior es cóncava transversalmente y convexa de delante atrás, a modo de **silla de montar**. A través del disco intervertebral (sin representar) se articula con la meseta inferior de la vértebra suprayacente, meseta convexa transversalmente y cóncava de delante atrás. Este conjunto articular, que recuerda a las articulaciones tipo silla de montar y, sobre todo, permite principalmente movimientos de flexoextensión; los movimientos laterales están limitados por la presencia de las apófisis unciformes que "conducen" los desplazamientos anteroposteriores en la flexoextensión.

En la parte posterior de la cara lateral del cuerpo vertebral se implantan, por una parte, los **pedículos vertebrales 6 y 6'**, punto de origen del arco posterior, y por otra, la **raíz anterior de la apófisis transversa** 7 y 7'.

Las **apófisis transversas cervicales** se caracterizan por su forma y orientación (**Fig. 37**): ahuecadas a modo de corredera de concavidad superior, se dirigen hacia delante y hacia fuera, en un plano que forma un ángulo de 60° con el plano sagital; además, son ligeramente oblicuas hacia abajo, formando una pendiente de 15°. El extremo posterointerno de la corredera empieza en el agujero de conjunción; su extremo anterolateral está flanqueado por **dos tubérculos**, el anterior y el posterior, en los que se insertan los músculos escalenos. En cuanto a su fondo, está perforado por el **agujero transverso** por el que asciende la arteria vertebral. El **nervio cervical**, tras salir del canal raquídeo por el agujero de conjunción, recorre la corredera de la apófisis transversa, de modo que cruza perpendicularmente la arteria vertebral para desembocar entre los dos tubérculos de la apófisis transversa.

- La perforación del fondo de la apófisis transversa hace que ésta parezca tener su origen en **dos raíces**, una que se fija directamente en el cuerpo vertebral y la otra en la apófisis articular.
- Las **apófisis articulares 9 y 9'** están situadas por detrás y por fuera del cuerpo vertebral al cual están unidas por los **pedículos 6 y 6'**; soportan las **carillas articulares** de las que se pueden observar aquí las superiores **10** y **10'**, que se articulan con las carillas inferiores de la vértebra suprayacente.
- El **arco posterior** queda completado por **las láminas vertebrales 11 y 11'** uniéndose en la línea media a la altura de la base de la **apófisis espinosa 12** que es bífida.
- De este modo, el **arco posterior** está constituido sucesivamente por los pedículos, las apófisis articulares, las láminas y la apófisis espinosa.
- El **agujero de conjunción** está limitado por abajo por el pedículo, por dentro por el cuerpo vertebral y la apófisis unciforme, y por fuera por la apófisis articular.
- El canal vertebral C, cuya forma es triangular, está limitado por el cuerpo vertebral por delante y el arco posterior por detrás.

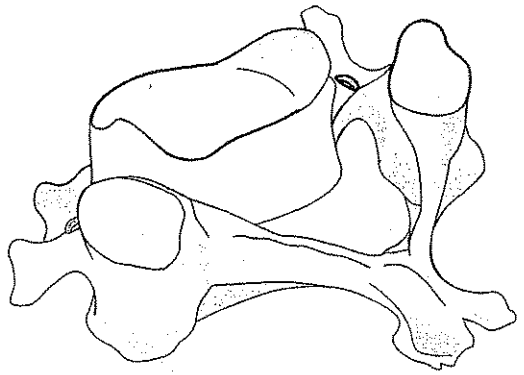


Fig. 35

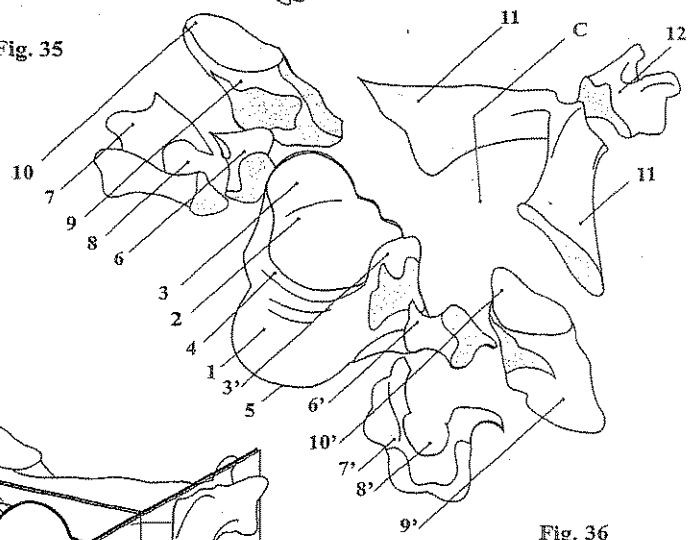


Fig. 36

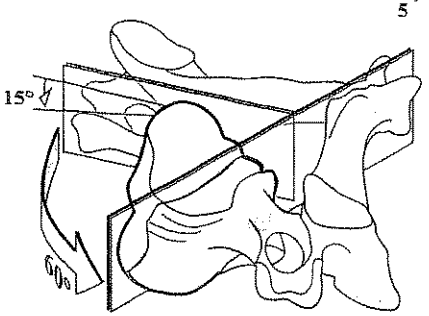


Fig. 37

Los ligamentos del raquis cervical inferior

Acaban de abordarse los ligamentos, muy singulares, que unen las vértebras del raquis suboccipital entre sí. Algunos de ellos prosiguen en el raquis cervical inferior.

Los elementos fibroligamentosos que unen las vértebras cervicales inferiores pueden detallarse en un **corte en perspectiva posteroizquierda (Fig. 38)** que muestra una vértebra cervical seccionada en el plano sagital con su meseta superior **a** y su apófisis unciforme **b**. Esta vértebra está unida a la vértebra subyacente por el **disco intervertebral**, que en el corte presenta dos partes bien visibles: el anillo fibroso **1** y el núcleo pulposo **2**.

Por delante de los cuerpos vertebrales se extiende el **ligamento longitudinal anterior 3**, por detrás el **ligamento longitudinal posterior 4**. Una cápsula **5** completa las articulaciones uncovertebrales a los lados.

Las **articulaciones cigapofisarias** ponen en contacto las carillas articulares **d**, unidas por una cápsula **6** que se ha representado abierta **6'**. Entre las **láminas vertebrales** se extienden, a cada lado, unos ligamentos amarillos **7**; uno de ellos se ha representado seccionado **7'**.

Las **apófisis espinosas j** están unidas entre sí por los ligamentos interespinosos **8**, prolongados hacia atrás por un ligamento supraespinoso, muy bien individualizado en el raquis cervical en un **ligamento nucal 9**; en sus dos caras se insertan el **músculo trapecio** y el **músculo esplenio**.

Las apófisis transversas, con sus tubérculos anterior **e** y posterior **f**, están unidas entre sí por los **ligamentos intertransversos 10**.

Se puede observar en la apófisis transversa el **agujero vertebral** o transverso **g** y los agujeros de conjunción **i**, limitados:

- por arriba por el **pedículo vertebral h**;
- por detrás y por fuera por las **apófisis articulares** y la **articulación cigapofisaria**;
- por delante y por dentro, por el **cuerpo vertebral**, el **disco intervertebral 1** y el **gancho del cuerpo b**.

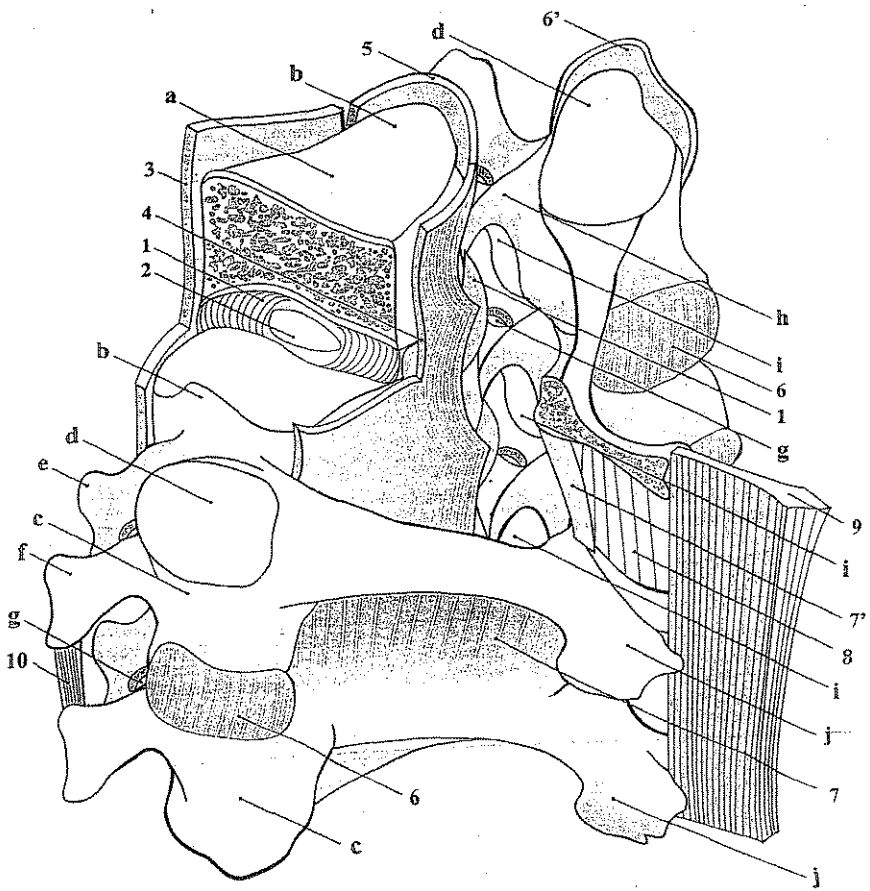


Fig. 38

Flexoextensión en el raquis cervical inferior

En la **posición neutra,** los cuerpos vertebrales (**Fig. 39, visión de perfil**) están unidos por un disco intervertebral cuyo núcleo está en posición estable y en el que todas las laminillas del anillo fibroso están sometidas a la misma tensión.

Además, las **vértebras cervicales** (**Fig. 40**) contactan a través de sus apófisis articulares, cuyas carillas están incluidas en un plano oblicuo hacia abajo y hacia atrás. En la parte baja del raquis cervical inferior, estas carillas poseen en el plano parasagital una ligera curva cóncava hacia delante, que corresponde a un centro de curva situado a bastante distancia hacia abajo y hacia delante. Debido a la lordosis cervical, los centros de curva están separados una longitud ligeramente mayor a la que separa el plano de las superficies articulares. Más adelante, en la página 218, se podrá analizar el significado de la convergencia de estos ejes.

Durante el **movimiento de extensión,** el cuerpo de la vértebra suprayacente (**Fig. 41**) se inclina y se desliza **hacia atrás**. El espacio entre las mesetas vertebrales se estrecha más por detrás que por delante, el núcleo pulposo se desplaza ligeramente hacia delante y, de este modo, las fibras anteriores del anillo fibroso se tensan más. Este movimiento de deslizamiento hacia atrás del cuerpo vertebral no se efectúa en torno al centro de curva de las carillas articulares y, en consecuencia (**Fig. 42**), aparece **un bostezo** en la articulación cigapofisaria: de hecho, la carilla superior no sólo se desliza hacia abajo y hacia atrás en relación a la carilla inferior, sino que además, forma con ésta un ángulo x' igual al ángulo de extensión x, encontrado nuevamente en x" el ángulo formado por las mediatrices de las carillas articulares.

El movimiento de extensión (**flecha azul**) está limitado por **la tensión del ligamento longitudinal anterior y,** sobre todo, por los **topes óseos**: el choque de la apófisis articular superior de la vértebra inferior sobre la apófisis transversa de la vértebra superior y, sobre todo, el **contacto de los arcos posteriores** a través de los ligamentos.

Durante el **movimiento de flexión,** el cuerpo de la vértebra suprayacente (**Fig. 43**) se inclina y se desliza **hacia delante,** lo que disminuye el grosor de la porción anterior del disco intervertebral y desplaza el núcleo hacia atrás, tensando las fibras posteriores del anillo fibroso. Este movimiento de inclinación de la vértebra suprayacente se ve favorecido por la superficie de la meseta superior de la vértebra subyacente, que deja pasar el pico de la meseta inferior de la vértebra suprayacente.

Como en el caso de la extensión, la flexión de la vértebra suprayacente (**Fig. 44**) no se efectúa en torno al centro de curva de las carillas articulares, lo que acarrea automáticamente un bostezo entre estas carillas: la carilla inferior de la vértebra suprayacente se desplaza hacia arriba y hacia delante, a la par que se produce un bostezo hacia abajo y hacia atrás, formando un ángulo y' igual al ángulo y de flexión y al ángulo y" formado por las mediatrices de las carillas articulares.

El movimiento de flexión (**flecha roja** F) no está limitado por los topes óseos, sino sólo por las tensiones ligamentosas: tensión del ligamento longitudinal posterior, de la cápsula de la articulación cigapofisaria, de los ligamentos amarillos, de los ligamentos interespinosos y del ligamento supraespinoso o ligamento nucal.

En los accidentes de automóvil por **choque trasero** o delantero, el raquis cervical se ve, con frecuencia, bruscamente lanzado, primero en extensión y luego en flexión: se trata de la **lesión "en latigazo"** que conlleva una elongación e incluso desgarros en los distintos ligamentos y, en casos extremos, **una luxación anterior de las apófisis articulares**: las apófisis articulares inferiores de la vértebra suprayacente se enganchan en el pico anterosuperior de las apófisis articulares de la vértebra subyacente; este tipo de luxación con" enganche" de las apófisis articulares es muy difícil de reducir y pone en peligro tanto el bulbo raquídeo como la médula espinal cervical, con **riesgo de muerte súbita, de cuadriplejía o de paraplejía**. ¡Puede imaginarse con cuanto cuidado es necesario manipular a estos accidentados!

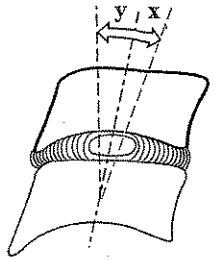


Fig. 39

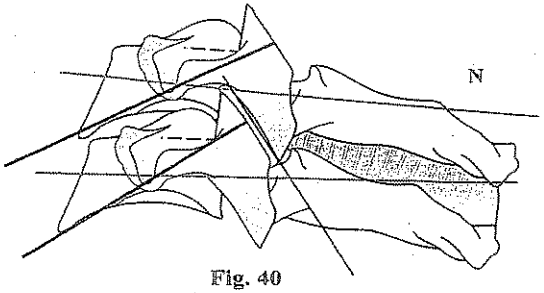


Fig. 40

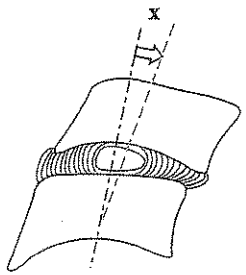


Fig. 41

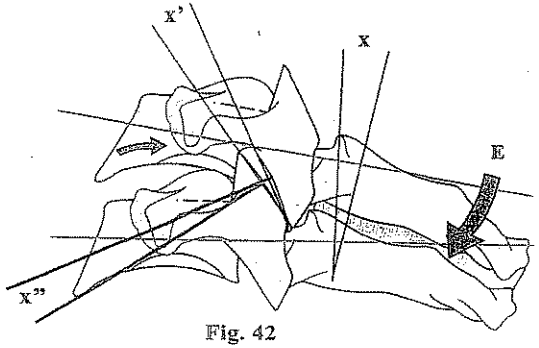


Fig. 42

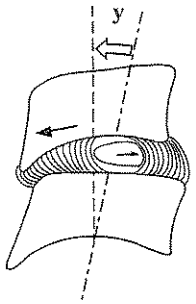


Fig. 43

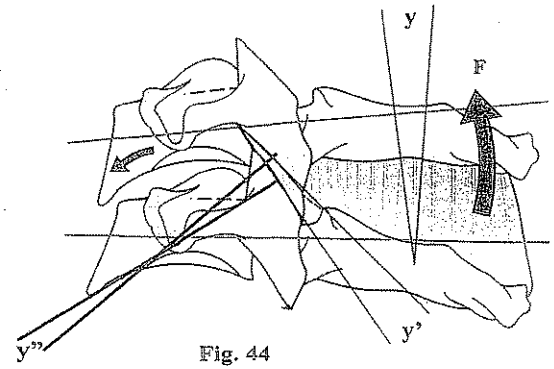


Fig. 44

Los movimientos en las articulaciones uncovertebrales

Hasta ahora, se han expuesto los movimientos en las articulaciones cigapofisarias y los discos intervertebrales, pero en el raquis cervical existen, en cada segmento, dos pequeñas articulaciones adicionales: las articulaciones uncovertebrales.

En un **corte frontal (Fig. 45)**, se puede observar, entre las dos mesetas vertebrales, el disco con el núcleo pulposo y el anillo fibroso, pero el disco no llega hasta el borde de la vértebra. De hecho, en la meseta superior sobresalen dos apófisis situadas en el plano sagital, las apófisis unciformes, cuya carilla interna, orientada **hacia arriba y hacia dentro**, está recubierta de cartílago y corresponde en el borde inferolateral del cuerpo vertebral suprayacente a una carilla articular semilunar, orientada **hacia abajo y hacia fuera** recubierta, asimismo, de cartílago. Esta pequeña articulación está en el **interior de una cápsula articular** que se confunde por dentro con el disco intervertebral; se trata pues de una **artrodia**, de tipo sinovial.

En los **movimientos de flexoextensión**, cuando el cuerpo vertebral suprayacente se desliza hacia delante o hacia atrás, se produce un **deslizamiento concomitante** entre las carillas de las articulaciones uncovertebrales. Las apófisis unciformes "conducen" el cuerpo vertebral en este movimiento.

Durante los **movimientos de inclinación (Fig. 46)**, en estas articulaciones uncovertebrales se producen **movimientos de bostezo** cuyo ángulo **a' y a"** es igual al ángulo de inclinación **a** que aparece de nuevo en el ángulo formado por las dos horizontales **nn'** y **mm'** que pasan por las apófisis transversas. Además, en esta figura se puede constatar el desplazamiento del núcleo pulposo hacia la **convexidad** de la curva y la puesta en tensión de la cápsula de la articulación uncovertebral del mismo lado.

En realidad, los movimientos en la articulación uncovertebral son mucho más complejos: de hecho, más adelante, se podrá comprobar como no existe movimiento de inclinación, sino **movimientos de inclinación combinados con movimientos de rotación y de extensión.** Por lo tanto, en las articulaciones uncovertebrales no sólo existen bostezos hacia arriba y hacia abajo, sino también deslizamientos hacia atrás y bostezos hacia adelante. Esto es lo que las dos figuras en perspectiva transparente (**Figs. 47 y 48**) sobre vértebras sumamente esquematizadas tratan de hacer comprender. Convendría repasarlos tras haber asimilado el mecanismo de los movimientos de inclinación-rotación.

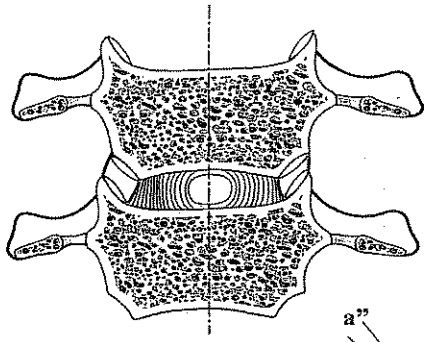


Fig. 45

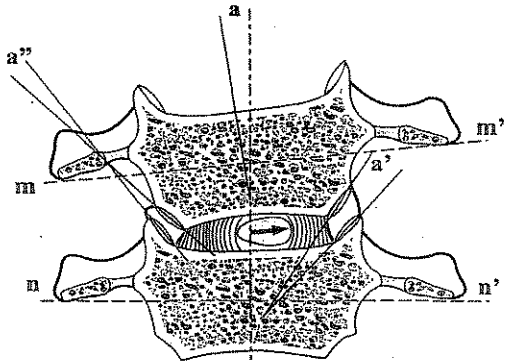


Fig. 46

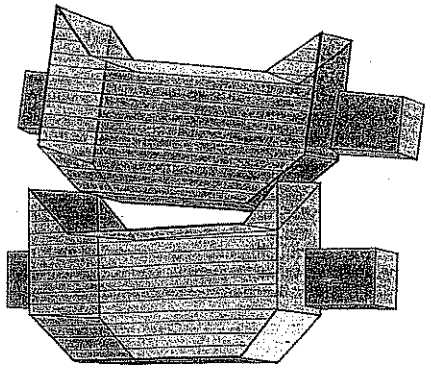


Fig. 47

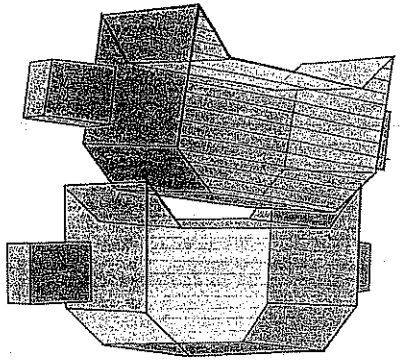


Fig. 48

Los movimientos combinados de inclinación-rotación en el raquis cervical inferior

El eje oblicuo en cada segmento, realiza un movimiento mixto de inclinación y de rotación que se añade al movimiento de flexoextensión.
A la totalidad del raquis inferior entre C2 y T1 (**Fig. 55**: esquematización del raquis cervical inferior), se añade un componente de extensión. De hecho, si se parte de una vértebra T1, estrictamente situada en el eje, el movimiento entre C7 y T1 desembocará en una rotación-inclinación de C7 y el movimiento entre C6 y C7, que parte ya de una posición de inclinación-rotación conllevará esta vez, no solamente una rotación y una inclinación, **sino también una extensión** y este mecanismo se acentuará de abajo arriba, de tal modo que si se proyecta el movimiento mixto del raquis cervical inferior en conjunto sobre los tres planos de referencia, o si se realizan radiografías de frente y de perfil (desgraciadamente es imposible efectuar radiografías transversales, sin embargo, pueden realizarse cortes con escáner), se puede apreciar como aparecen los siguientes componentes:

- en el plano frontal **F**, un componente de inclinación **L**;
- en el plano sagital **S**, un componente de extensión **E**;
- y en el plano transversal u horizontal **H**, un componente de rotación **R**.

Por lo tanto, se puede afirmar que, además de los movimientos de flexoextensión, el raquis cervical sólo puede realizar movimientos siempre parecidos a sí mismos, **estereotipados, movimientos mixtos de inclinación-rotación-extensión (Fig. 56)**, teniendo en cuenta que el componente de extensión se ve en cierta medida automáticamente compensado por una flexión en el mismo raquis cervical inferior. En cambio, se podrá ver que el resto de los componentes sólo pueden ser compensados en el raquis cervical superior (*véase* la pág. 228).

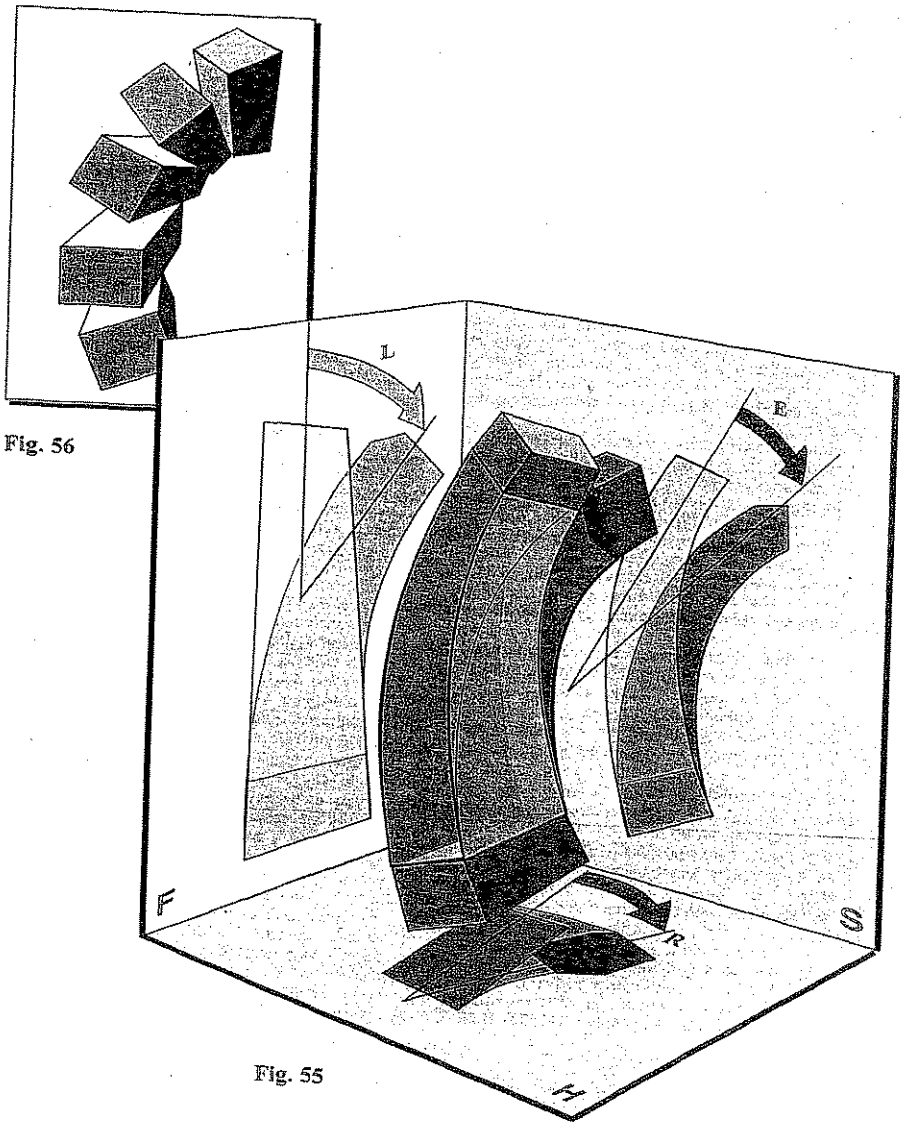


Fig. 55

Fig. 56

La orientación de las carillas articulares
El eje mixto de rotación-inclinación

Los movimientos de inclinación y de rotación en el raquis cervical inferior están determinados por la orientación de las carillas de las apófisis articulares, que no permite ni un movimiento de rotación pura, ni un movimiento de inclinación pura.

De hecho, si se considera una vértebra de situación media, como por ejemplo la **quinta vértebra cervical** (Fig. 49), se puede constatar que sus carillas articulares superiores son planas y están incluidas en un mismo plano P oblicuo hacia abajo y hacia atrás. Por consiguiente, todo deslizamiento de la cuarta vértebra cervical que la sobrepasa sólo puede ser de dos tipos:

- bien un deslizamiento global hacia arriba, se trata entonces de una **flexión** o deslizamiento global hacia abajo en el caso de la **extensión**;
- bien un deslizamiento desigual: una de las carillas de la cuarta vértebra cervical, por ejemplo la izquierda, se eleva hacia arriba y hacia delante (**flecha a**), mientras que la carilla derecha desciende hacia abajo y hacia atrás (**flecha b**). De este modo, este deslizamiento desigual en el plano P es una rotación en torno a un eje A perpendicular al plano P, eje situado en el plano sagital. La rotación de la cuarta vértebra cervical en torno al eje A, oblicuo hacia abajo y hacia delante, le hace realizar un movimiento mixto de inclinación y de rotación, ambos hacia la derecha. Se trata en este caso de un movimiento mixto de rotación-inclinación que depende de la oblicuidad del eje A.

Los cortes horizontales realizados en las articulaciones cigapofisarias muestran que las carillas, en las partes superior e inferior, no son rigurosamente planas; sino que presentan:

- una **ligera convexidad hacia atrás** en las vértebras cervicales sexta y séptima (**Fig. 50**);
- o bien una **ligera concavidad hacia atrás** en las vértebras cervicales tercera y cuarta (**Fig. 51**).

Esto no contradice en absoluto la demostración anterior, ya que entonces se puede considerar que el plano P (Fig. 49) quedaría reemplazado por una superficie esférica de radio mayor, cuyo centro se localizaría en el eje A, bien por debajo de la vértebra en el caso de las sexta y séptima vértebras cervicales (Fig. 52), bien por encima de la vértebra en el caso de las tercera y cuarta vértebras cervicales (Fig. 53): por lo tanto, el eje mixto de rotación-inclinación sigue siendo el eje A de la Fig. 49.

En una **radiografía de perfil del raquis cervical** (Fig. 54) es fácil trazar la dirección del plano de las **carillas articulares**:

- estos planos **a, b, c, d, e, f** son oblicuos con respecto a la vertical;
- pero, además, su oblicuidad es creciente de abajo arriba: el plano f, que corresponde a la interlínea C7-T1 sólo tiene una inclinación de 10° sobre la horizontal. Sin embargo, el plano a de la interlínea C2-C3 está inclinado de 40 a 45° sobre la horizontal. Por lo tanto, existe un ángulo de 30 a 35° entre el plano de la interlínea inferior f y el del superior a.

No obstante, estos planos no convergen exactamente en un mismo punto: existen ciertas irregularidades en la progresión de la oblicuidad de abajo arriba; los tres últimos planos **d**, e y f son casi paralelos, mientras que los tres primeros **a**, b y c son muy convergentes.

Por consiguiente, si se traza una mediatriz en cada carilla articular, la oblicuidad de estos ejes **1**, 2, 3, 4, 5 y 6 también es regularmente creciente y se inscribe en un ángulo de 30 a 35°, pero, hecho importante, el eje más bajo **6** es casi vertical, lo que implica una rotación casi pura, mientras que el eje más elevado 1 está inclinado de 40 a 45° sobre la vertical, lo que implica una igualdad entre la inclinación y la rotación.

En la **figura 54**, también se ha representado, en forma de pequeñas cruces, la localización de los centros motores según el **diagrama de Penning**, que corresponde a la localización del eje transversal de flexoextensión de cada una de las vértebras suprayacentes. Nótese que cuanto más se desciende hacia la base del raquis cervical, más se desplaza el centro motor hacia arriba y hacia delante del cuerpo vertebral. La posición de estos centros motores no corresponde exactamente a la de los centros teóricos representados a modo de estrellitas, deducida de calcos de radiografías laterales, tomadas en posiciones extremas de flexión y de extensión.

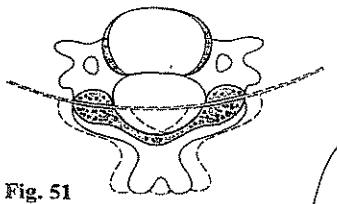


Fig. 51

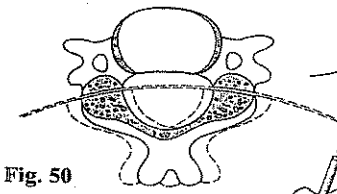


Fig. 50

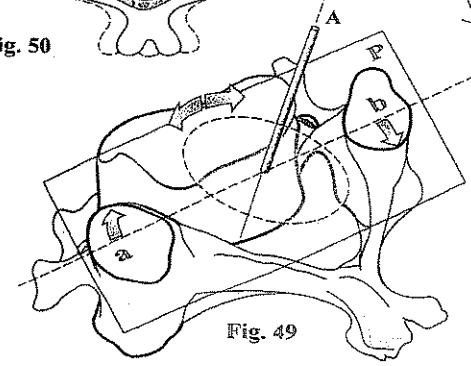


Fig. 49

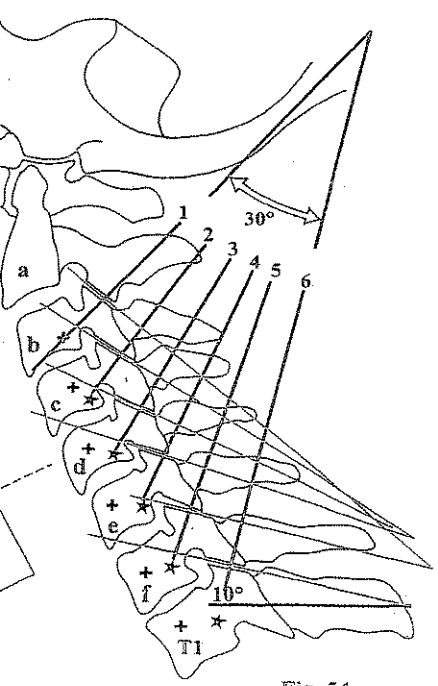


Fig. 54

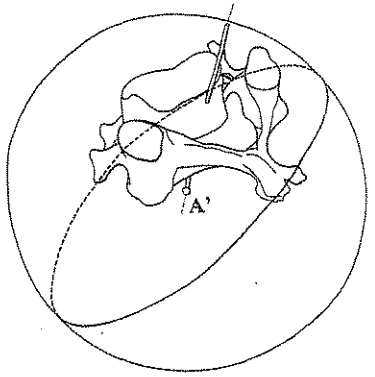


Fig. 52

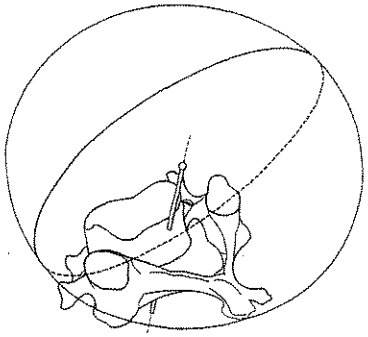


Fig. 53

Geometría del movimiento de inclinación y de rotación

La **demostración geométrica del movimiento de inclinación-rotación** (**Fig. 57**) es simple, gracias a un esquema en el espacio donde se ha figurado el plano **R** de inclinación-rotación en torno a un eje **u**. Debido a la oblicuidad de este eje **u**, el plano **R** es oblicuo en relación a los planos de referencia frontal **F** y transversal u horizontal **H**. El plano sagital S, perpendicular a los anteriores, contiene el segmento **k** en rojo que representa el eje de simetría de la vértebra suprayacente, que gira en torno al eje **u**. Cuando este segmento gira en torno al eje **u**, hacia la derecha, en el plano R, su posición final **l** está incluida en el plano vertical **P** que ha girado al mismo tiempo que este segmento, en torno a la vertical que pasa por **O**.

En esta nueva posición, este segmento **l** se proyecta en *l'* sobre el plano **F**. Asimismo, en el plano **H**, esta rotación se mide por el ángulo formado en *o''* entre los planos S y P. Estas proyecciones representan:

- para una, en el plano **F**, el **componente de inclinación**;
- para la otra, en el plano **H**, el **componente de rotación**.

Cuando la vértebra suprayacente gira en torno al eje **u**, va a llevar su propio eje de rotación a **u'**, y a continuación a **u''** en el caso de la segunda vértebra por encima. De este modo aparece un nuevo componente de extensión, posible de calcular mediante la trigonometría, algo que no se pretende demostrar aquí.

La figura en perspectiva de dos vértebras cervicales superpuestas (**Fig. 58**) muestra esta rotación hacia la derecha (**flecha roja**) de la vértebra suprayacente, en torno al eje **u**, que se acompaña de un avance de las masas laterales izquierdas y de un retroceso de las masas laterales derechas. La rotación es visible a la altura de las dos líneas a trazos, que pasan por las superficies articulares superiores de cada una de las vértebras.

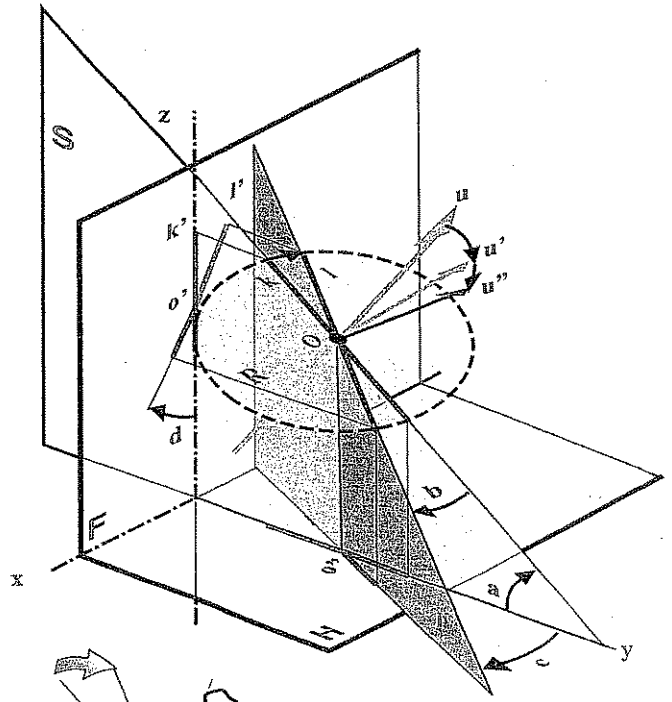


Fig. 57

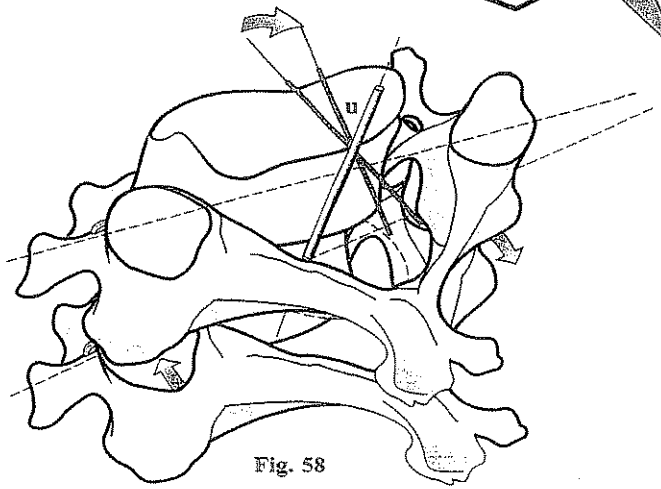


Fig. 58

Modelo mecánico del raquis cervical

Partiendo de esas concepciones mecánicas y de la división funcional entre raquis cervical superior suboccipital y raquis cervical inferior, se ha realizado un **modelo mecánico (Fig. 59)** que permite poner de manifiesto los distintos tipos de funcionamiento de las articulaciones del raquis cervical.

En el **raquis cervical inferior,** es decir, entre C2 y T1, sólo se han efectuado movimientos mixtos de inclinación-rotación, alrededor de ejes oblicuos (*véase* pág. 226), respetando su oblicuidad anatómica y su disposición en relación a los cuerpos vertebrales que, en este modelo, no presentan ninguna articulación discal entre sí; en cambio, dichos ejes constituyen por sí solos los frenos del movimiento de inclinación-rotación. La eliminación deliberada de los movimientos de flexoextensión en esta parte del modelo permite que los movimientos de inclinación-rotación aparezcan de manera particularmente explícita.

El **raquis cervical suboccipital** se ha llevado a cabo según los equivalentes mecánicos; de hecho, se puede distinguir:

- un **eje vertical** que corresponde a la apófisis odontoides y que permite, además de los movimientos de rotación, algunos movimientos de flexoextensión de la meseta elíptica que representa al atlas, merced a un juego mecánico introducido voluntariamente entre él y el cuerpo de C2;
- un conjunto de **tres ejes ortogonales** de poca amplitud que corresponden a la articulación atlantooccipital;
- un **eje vertical** situado en el centro de la meseta del atlas;
- **dos ejes perpendiculares** entre sí y en relación al precedente, visibles en el esquema, que forman un cardán y que representan, por una parte, el eje de inclinación lateral de la atlantooccipital, y, por otra, el eje de flexoextensión en esta misma articulación.

Todos estos detalles pueden apreciarse con más claridad en la **figura 64** pág. 231.

Resumiendo, el raquis suboccipital representa una cadena articular de **tres ejes y con tres grados de libertad** garantizando la unión entre C2 y el hueso occipital, representado en este modelo por una pequeña plancha horizontal, unida a los tres planos principales de referencia de la cabeza:

- el plano sagital, en **gris claro**;
- el plano frontal, en **blanco**;
- y el plano transversal, representado por la **pequeña plancha oscurecida** en la base de los dos planos.

Este modelo permite entender cómo los dos segmentos del raquis se completan funcionalmente; así, en el esquema se puede ver que el movimiento de inclinación-rotación a la derecha del raquis cervical inferior se transforma en el raquis suboccipital en un movimiento de inclinación pura, gracias a la eliminación de los componentes no deseados, mediante una **contrarrotación** y una **ligera flexión**.

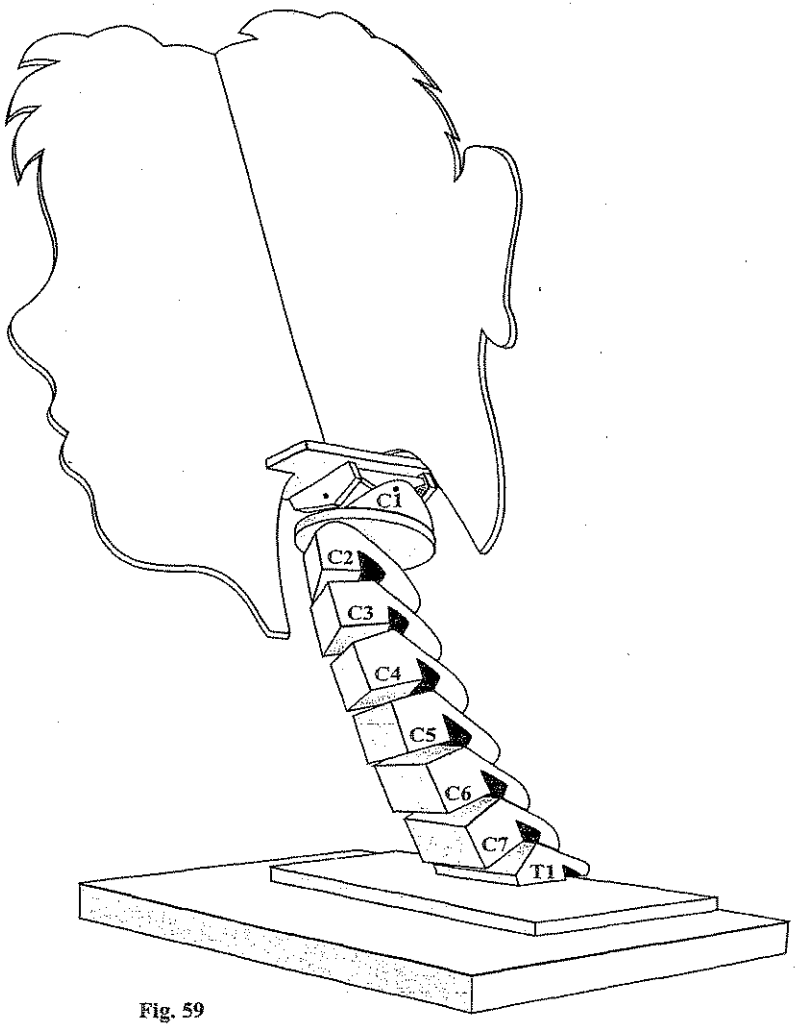


Fig. 59

Los movimientos de inclinación-rotación en el modelo del raquis cervical

En una **visión detallada del raquis cervical inferior aislado (Fig. 60)**, se puede apreciar que, funcionalmente, a cada cuerpo vertebral le corresponde un arco posterior representado por una tablilla inclinada hacia abajo y hacia atrás con una calza en forma de cuña. Si se compara esta figura a la figura 54, pág. 219, puede constatarse que el papel de estas calzas es el de reconstituir la convergencia del plano de las superficies articulares y, por lo tanto, realizar la **lordosis cervical.**

En cada uno de estos planos de superficie articular se implanta perpendicularmente el eje oblicuo, materializado en este caso por un tornillo, y que permite la articulación con la vértebra suprayacente. De este modo, esta vértebra suprayacente sólo se puede desplazar con respecto a la que está situada por encima en los **movimientos de rotación** alrededor de este eje oblicuo, tal como se ha explicado en la Fig. 54. Si se aplica entonces una rotación sucesiva en torno a los seis ejes de este modelo, se puede ver como adquiere, a la vez, un movimiento de inclinación **asociado a una rotación (Fig. 61)**, cuyos 50° corresponden a la amplitud de rotación del raquis cervical inferior y también un ligero componente de extensión que apenas es visible en estas visiones.

Asimismo, nótese la forma de la cara superior de C2 que representa funcionalmente la articulación atlantoaxial (*véase* Fig. 64, pág. 231):

- la **forma convexa** de delante atrás que corresponde a las carillas superiores del axis y permite movimientos de flexoextensión del atlas (sin representar);
- el **eje vertical** que rebasa y representa funcionalmente la apófisis odontoides y permite movimientos de rotación.

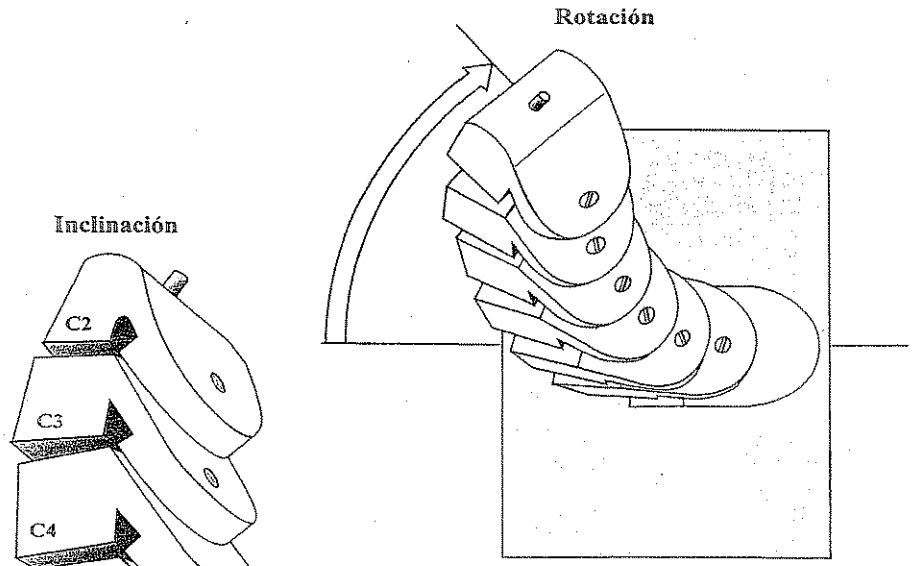


Fig. 61

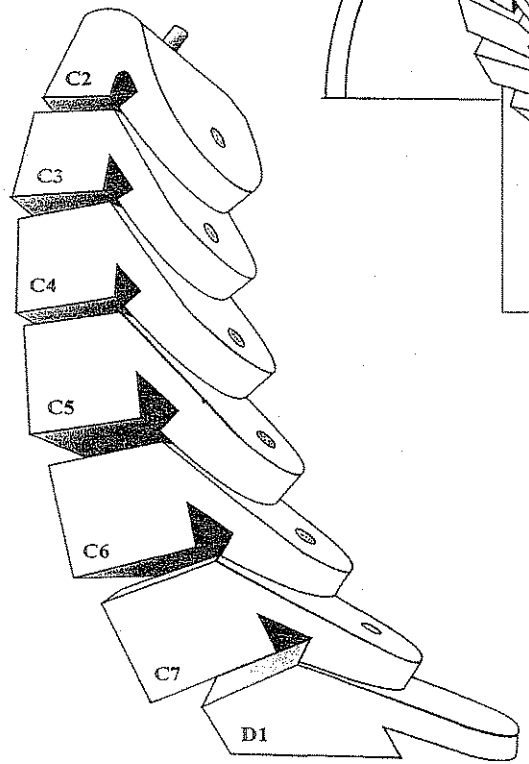


Fig. 60

Comparaciones entre el modelo y el raquis cervical durante los movimientos de inclinación-rotación

En una **visión del modelo de frente (Fig. 62)** durante un movimiento de rotación pura, se puede constatar que el movimiento de inclinación-rotación unívoco del raquis cervical inferior realiza una inclinación total de 25°.
Si, además, se **toma una radiografía, estrictamente de frente**, del raquis cervical en el transcurso de un movimiento de rotación pura de la cabeza (**Fig. 63**), se halla de nuevo este movimiento de inclinación que se traduce a nivel del axis en una inclinación exactamente igual a 25° sobre la vertical.

De la comparación de estos dos documentos se puede entonces deducir que en el raquis cervical existen, como ya demostraron Fick y Weber a finales del siglo XIX, **movimientos de inclinación siempre asociados a la rotación** y que, por otra parte, como manifestaron más recientemente Penning y Brugger, los movimientos de inclinación del raquis cervical inferior los compensa el raquis cervical suboccipital para conseguir la rotación pura y, viceversa, los movimientos de rotación del raquis cervical inferior los compensa el raquis cervical suboccipital para conseguir una inclinación pura (*véase* Fig. 59, pág. 225).

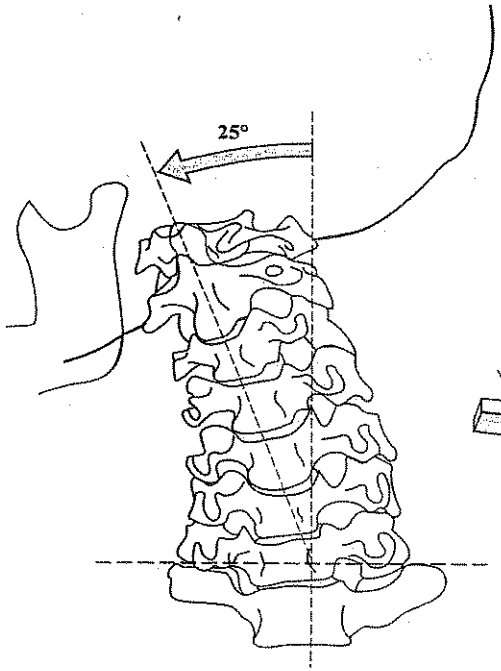


Fig. 63

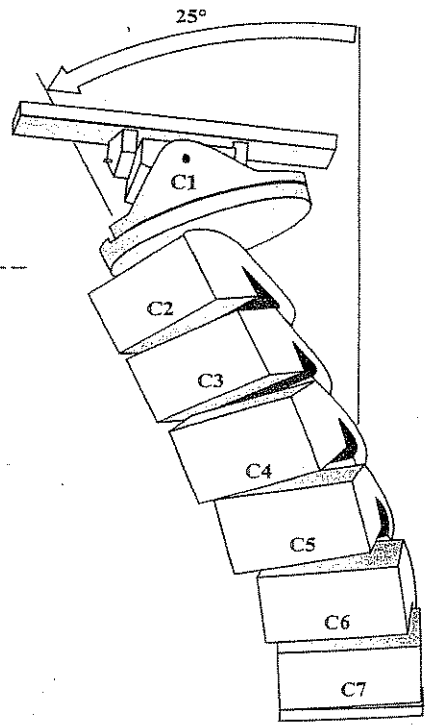


Fig. 62

Las compensaciones en el raquis suboccipital

Esta **visión detallada del modelo del raquis cervical (Fig. 64)** en posición de rotación pura muestra perfectamente la constitución mecánica del raquis cervical superior, así como los componentes compensadores que éste introduce para realizar el movimiento de rotación pura.

De arriba abajo se pueden observar: la meseta horizontal A que representa la **base del hueso occipital**; en su parte inferior, dos soportes frontales B para el **eje anteroposterior 4 de inclinación** de la articulación atlantooccipital que se articula con la pieza intermedia C. Está atravesada por un **eje transversal 3, que representa el eje de flexoextensión** de la articulación atlantooccipital; sostenido por dos flancos verticales **D'** unidos a una meseta horizontal **D**. Éste último gira sobre la meseta **E** gracias a un eje vertical 2 que representa el eje de rotación de la articulación atlantooccipital: en la figura oculto por C.

La meseta **E**, equivalente funcional del atlas, está articulada con el axis **F** por un **eje vertical 1** que representa a la apófisis odontoides y está materializado en este caso por un tornillo sin ajustar totalmente, lo que permite, además de los movimientos de rotación, movimientos de flexoextensión sobre la cara superior convexa del axis **F**.

En esta figura del modelo (**Fig. 64**), pueden reconocerse los elementos mecánicos que corresponden anatómicamente a los distintos elementos del raquis suboccipital:

el axis F con su apófisis odontoides: eje 1;

el atlas E, que se articula con la apófisis odontoides y la cara superior del axis;

el hueso occipital A, que corona un conjunto funcional de tres ejes perpendiculares entre sí, los de la articulación atlantoaxial: eje de rotación 2, eje de flexoextensión 3 y el eje de inclinación 4. Estos dos últimos forman entre sí un sistema de cardán.

Para obtener la rotación pura, una vez el raquis cervical inferior haya efectuado su movimiento de inclinación-rotación, la cadena articular suboccipital, con tres ejes y tres grados de libertad, debe realizar **tres componentes de corrección:**

- un **componente de rotación hacia la derecha**, en torno a los ejes 1 y 2, que se realiza en gran parte en la articulación atlantoaxial, ángulo a, y en menor medida en la articulación atlantooccipital, ángulo b;
- una **extensión** en torno al eje 3 de un ángulo c que compensa la flexión que aparecería a causa de la rotación pura hacia la derecha sobre el eje;
- y, por último, un ligero **componente de contrainclinación** de ángulo **d** en tornó al eje 4;

Anatómicamente, los movimientos se efectúan en el raquis suboccipital gracias a la acción de los pequeños **músculos suboccipitales** (*véase* pág. 250) que se podrían denominar **músculos "nonio"**, ya que existe una notable analogía entre los músculos "nonio" y los **cohetes "nonio"** que, debido a su acción calculada con exactitud, permiten controlar la posición de un satélite en relación a puntos fijos de referencia.

La rotación complementaria del raquis suboccipital hacia la derecha está garantizada (*véase* pág. 252) por la contracción de los músculos oblicuo inferior, recto anterior del lado derecho, y por el oblicuo superior izquierdo. Todos ellos son, a la vez, extensores.

La contrainclinación hacia la izquierda se consigue a través del músculo oblicuo superior de la cabeza, del músculo recto lateral de la cabeza izquierdo y del músculo recto anterior de la cabeza izquierdo.

Durante el movimiento de **inclinación pura** de la cabeza hacia la derecha **(Fig. 59)**, el componente de contrarrotación hacia la izquierda se obtiene mediante la contracción de los músculos oblicuo inferior de la cabeza, rectos posteriores mayor y menor de la cabeza del lado izquierdo, la **inclinación adicional** hacia la derecha por la acción de los músculos rectos posteriores mayor y menor de la cabeza del lado derecho y por el oblicuo superior de la cabeza derecho. Por último, el **componente de extensión** de estos músculos, está compuesto por los músculos: recto anterior de la cabeza, y recto lateral de la cabeza derecho.

De este modo, este modelo mecánico que puede construir el lector de forma sencilla permite comprender la relación anatómica y funcional entre:

- por una parte, el raquis cervical inferior, dotado de movimiento de enrollamiento o de torsión, que asocia inclinación, rotación, extensión, y está provisto de músculos largos, oblicuos hacia abajo, hacia fuera y hacia atrás, dispuestos de forma idónea para realizar este movimiento unívoco;
- por otra parte, el raquis cervical superior, que constituye una cadena articular de tres ejes y tres grados de libertad, activada, entre otros, por la acción de los **músculos de ajuste**.

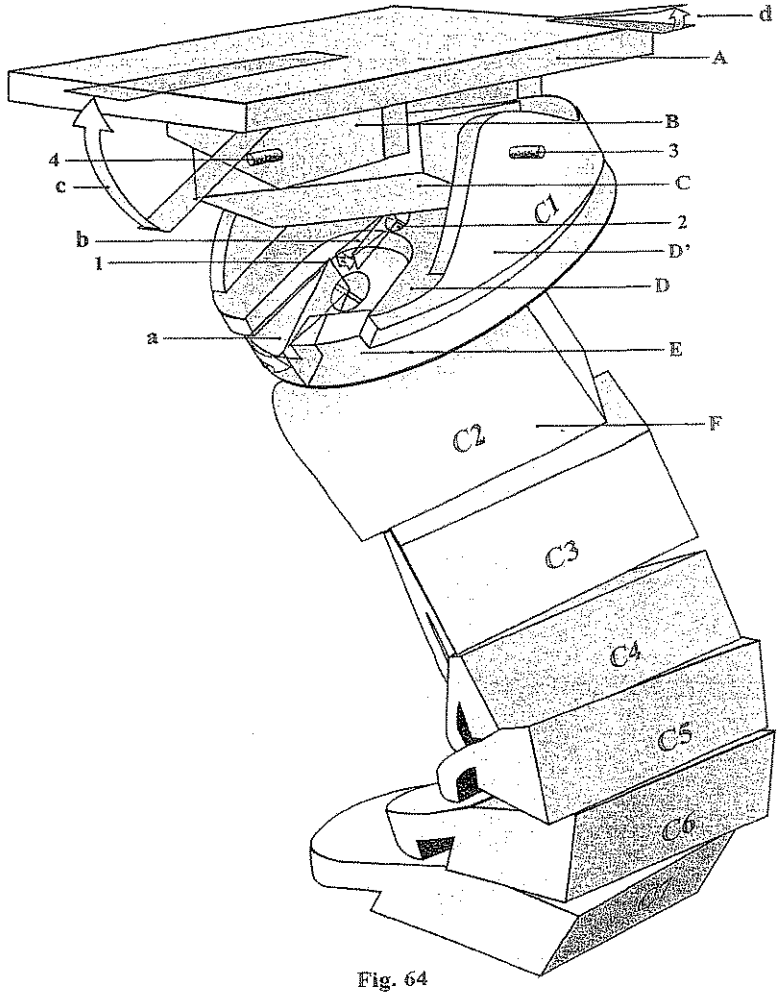


Fig. 64

Amplitudes articulares en el raquis cervical

La comparación de **radiografías de perfil** durante los movimientos extremos de **flexoextensión (Fig. 65)** permite conocer:

- la amplitud total de flexoextensión del raquis cervical inferior: **RCI** = de 100 a 110°;
- la amplitud total de flexoextensión del conjunto del raquis cervical en relación al plano masticador: **RT** = 130°;
- una simple resta permite deducir la amplitud de flexoextensión en el raquis suboccipital: **SO** = 20 a 30°.

Asimismo, en **radiografías de frente** tomadas con inclinación de cabeza (Fig. 66), se puede apreciar la **amplitud total de inclinación,** que es, aproximadamente, de unos 45°. Además, trazando la línea que une las dos apófisis transversas del atlas, por una parte, y, por otra, la línea que une la base de las apófisis mastoides, se haya, aproximadamente, una amplitud de 8° en la inclinación lateral del raquis suboccipital; es decir, **únicamente en la articulación atlantooccipital.**

La **amplitud de rotación** es más difícil de apreciar, sobre todo, en lo que concierne a las rotaciones elementales (**Fig. 67**). La rotación total de la cabeza es de 80 a 90° a cada lado. En lo relacionado a esta amplitud, se atribuyen 12° a la articulación atlantooccipital y otros tantos a la articulación atlantoaxial.

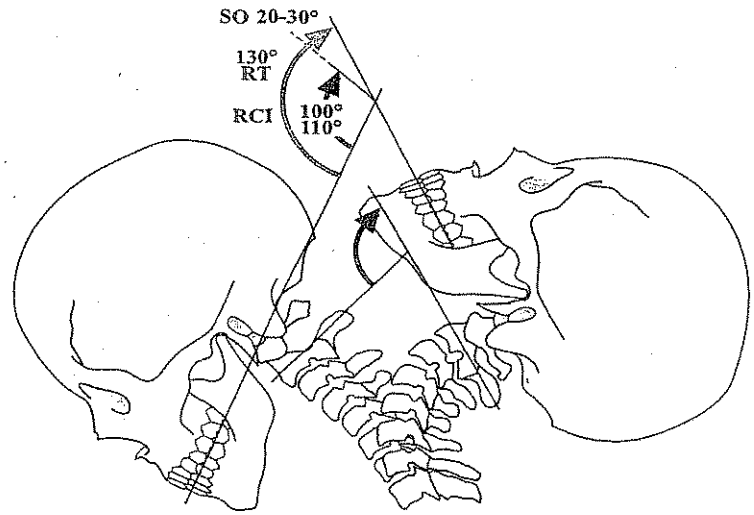


Fig. 65

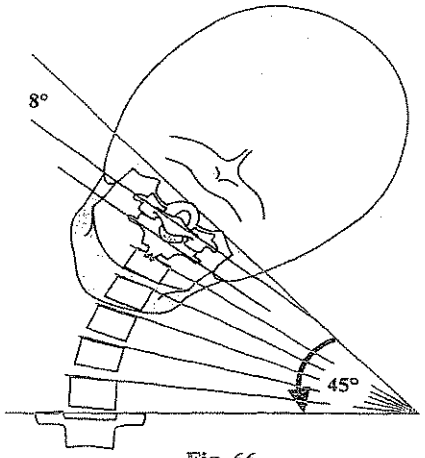


Fig. 66

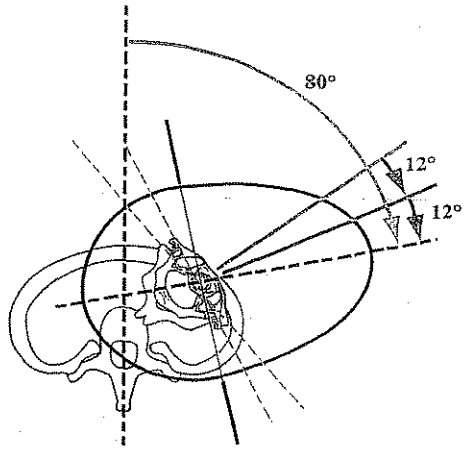


Fig. 67

Equilibrio de la cabeza sobre el raquis cervical

La cabeza está en **equilibrio** (**Fig. 68**) cuando los **ojos están en la horizontal**. En esta posición, el plano masticador **PM**, representado por un cartón apretado entre los dientes, también es horizontal, así como el plano auriculonasal AN, que pasa por el borde superior del conducto auditivo externo y por la espina nasal.

La cabeza en conjunto constituye una **palanca de interapoyo**:

- el **punto de apoyo** O se sitúa en los cóndilos occipitales;
- la **resistencia** G se lleva a cabo ejerciendo el peso de la cabeza contra su centro de gravedad localizado cerca de la silla turca;
- la **potencia** F está constituida por la fuerza de los músculos de la nuca que, en todo momento, deben contrarrestar el peso de la cabeza que tiende a hacerla caer hacia delante.

Esta situación anterior del centro de gravedad de la cabeza explica la relativa potencia de los músculos posteriores de la nuca respecto a los músculos flexores del cuello. De hecho, los extensores luchan contra la gravedad, mientras que en el caso de los flexores la misma los asiste. Esto explica también que existe un **tono permanente** de los músculos de la nuca que se opone a la caída de la cabeza hacia adelante: cuando, en el transcurso del sueño en sedestación, este tono disminuye, el mentón cae sobre el esternón.

El raquis cervical no es rectilíneo: presenta una curva cóncava hacia atrás o **lordosis cervical** que se caracteriza:

- por su **cuerda c**, recta, que se extiende desde los cóndilos occipitales a las escotaduras posteroinferiores de la séptima vértebra cervical;
- y por su flecha **f**, perpendicular, trazada desde la escotadura posteroinferior de la **cuarta cervical** a la cuerda.

Cuanto mayor sea la lordosis cervical, más se acentuará la flecha; sin embargo, ésta será nula si el raquis cervical es rectilíneo, e incluso puede ser negativa cuando éste, en flexión, sea cóncavo hacia delante. En cambio, la cuerda es, normalmente, más corta que la longitud desarrollada por el raquis cervical, y sólo es igual a ésta longitud desarrollada en un único caso: cuando el raquis cervical es rectilíneo. He aquí un índice cervical similar al índice de Delmas, del que ya se habló en el primer capítulo (*veáse* pág. 15).

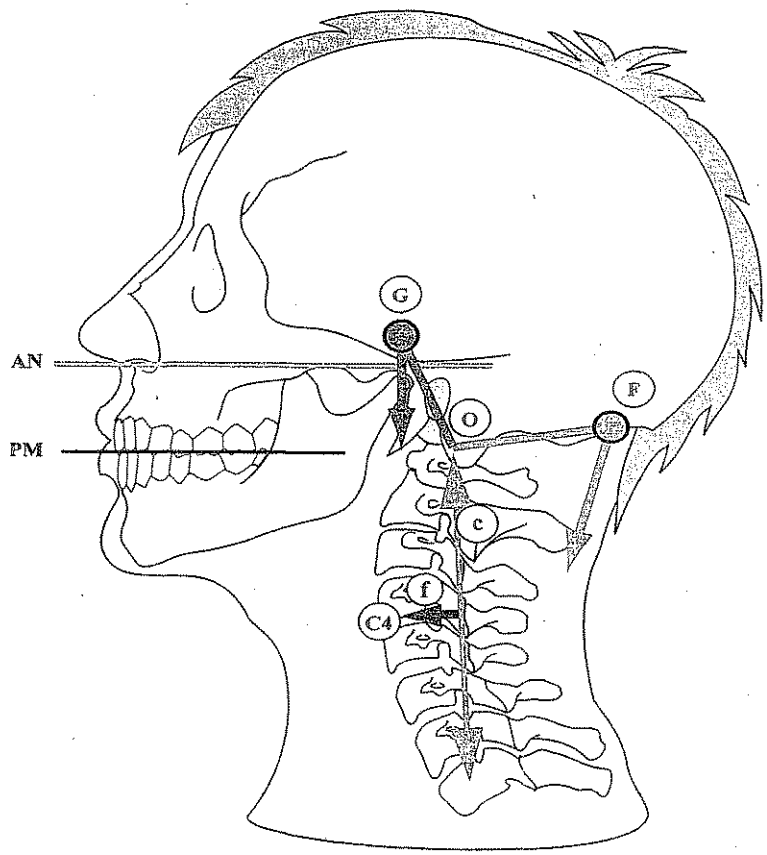


Fig. 68

Constitución y acción del músculo esternocleidomastoideo

El **músculo esternocleidomastoideo** debería denominarse por ser más correcto esternocleidooccipitomastoideo, ya que está constituido por **cuatro porciones** (**Fig. 69**):

- una porción profunda, el **cleidomastoideo Cm**, que se extiende desde el tercio interno de la clavícula a la apófisis mastoides. Está cubierto por las tres porciones superficiales restantes;
- las otras tres porciones, cuando se las separa, dibujan una N, pero, en realidad, están pegadas unas a otras, salvo en la parte inferomedial, cerca del extremo medial de la clavícula, en la que se forma la **fosita de Sédilot** a través de la cual se transparenta el cleidomastoideo.

Estas tres porciones son:

- la **cleidooccipital Co**, que recubre la mayor parte del cleidomastoideo y cuyas inserciones se extienden por detrás, alejadas, sobre la línea curva superior del occipital;
- la **esternooccipital Eo**, asociado al esternomastoideo;
- y la **esternomastoidea Em**; ambos se insertan mediante un tendón común en el borde superior del manubrio esternal. El esternooccipital se une a las inserciones del cleidooccipital en la línea curva superior; en cuanto al esternomastoideo, se fija en el borde superior y borde anterior de la **apófisis mastoides**.

En conjunto, este músculo forma una ancha banda muscular, que se extiende sobre la cara anterolateral del cuello, oblicua hacia abajo y hacia delante, cuya parte más prominente está constituida, hacia abajo y hacia delante, por el tendón común al esternooccipital y al esternomastoideo. Estos dos músculos forman un cuerpo carnoso fusiforme perfectamente visible bajo la piel. Los dos tendones derecho e izquierdo limitan entre sí el hueco o fosita supraesternal, siempre marcada.

La **contracción unilateral** (**Fig. 70**) del músculo, determina un movimiento complejo que asocia **tres componentes**:

- la **rotación R** de la cabeza hacia el lado opuesto a su contracción;
- la **inclinación I** hacia el lado de su contracción;
- y la **extensión**.

Este movimiento dirige la mirada hacia arriba y hacia el lado opuesto a la contracción del músculo. Esta actitud de la cabeza es característica del **tortícolis congénito**, que, con frecuencia, se debe a que uno de los tendones del músculo es demasiado corto.

Más adelante (*véase* pág. 260), se expondrán los efectos de la contracción simultánea de los dos músculos esternocleidosmastoideos, que dependen del estado de contracción del resto de los músculos del raquis cervical:

- si el raquis cervical permanece flexible, esta contracción bilateral conlleva una **hiperlordosis** del raquis cervical con una extensión de la cabeza y una flexión del mismo sobre el raquis torácico (*véase* Fig. 99, pág. 261);
- si, por el contrario, el raquis cervical se torna rígido y rectilíneo debido a la contracción de los músculos prevertebrales, la contracción simultánea de los músculos esternocleidosmastoideos, conlleva **la flexión del raquis cervical sobre el raquis torácico** y una flexión de la cabeza hacia adelante (*véanse* Fig. 100, pág. 261 y Fig. 103, pág. 263).

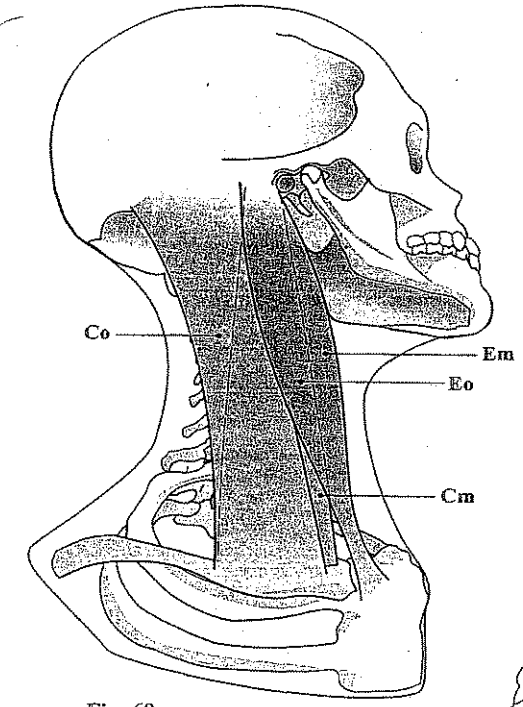


Fig. 69

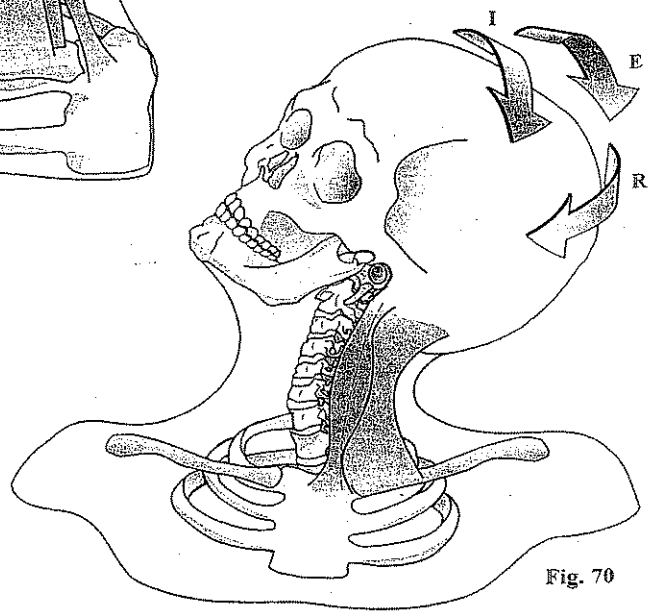


Fig. 70

Los músculos prevertebrales: el músculo largo del cuello

El **músculo largo del cuello (Fig. 71)** es el más profundo de los músculos prevertebrales. Se extiende por la cara anterior del raquis cervical, desde el arco anterior del atlas hasta la tercera vértebra torácica. Los anatómicos distinguen **tres porciones**:

- una **porción oblicua descendente d**, que se origina en el tubérculo anterior del atlas y se inserta a través de tres o cuatro digitaciones en el tubérculo anterior de la apófisis transversa de la tercera, cuarta, quinta y sexta vértebras cervicales;
- una **porción oblicua ascendente a**, que se origina en el cuerpo de la segunda y tercera vértebras torácias para insertarse mediante tres o cuatro digitaciones en el tubérculo anterior de la apófisis transversa de la cuarta, quinta, sexta y séptima vértebras cervicales;
- y, por último, **una porción longitudinal l**, localizada por dentro de las dos precedentes y algo hacia fuera de la línea media y que se inserta en los cuerpos vertebrales de las tres primeras torácicas y de las seis últimas cervicales.

Por lo tanto, el músculo largo del cuello cubre, a ambos lados de la línea media, la totalidad de la cara anterior del raquis cervical. Su contracción bilateral y simétrica endereza la lordosis cervical y acarrea una **flexión del cuello**. De este modo, desempeña un papel relevante en la estática del raquis cervical.
Su contracción unilateral determina una **flexión** del raquis y una **inclinación hacia el lado de su contracción**.

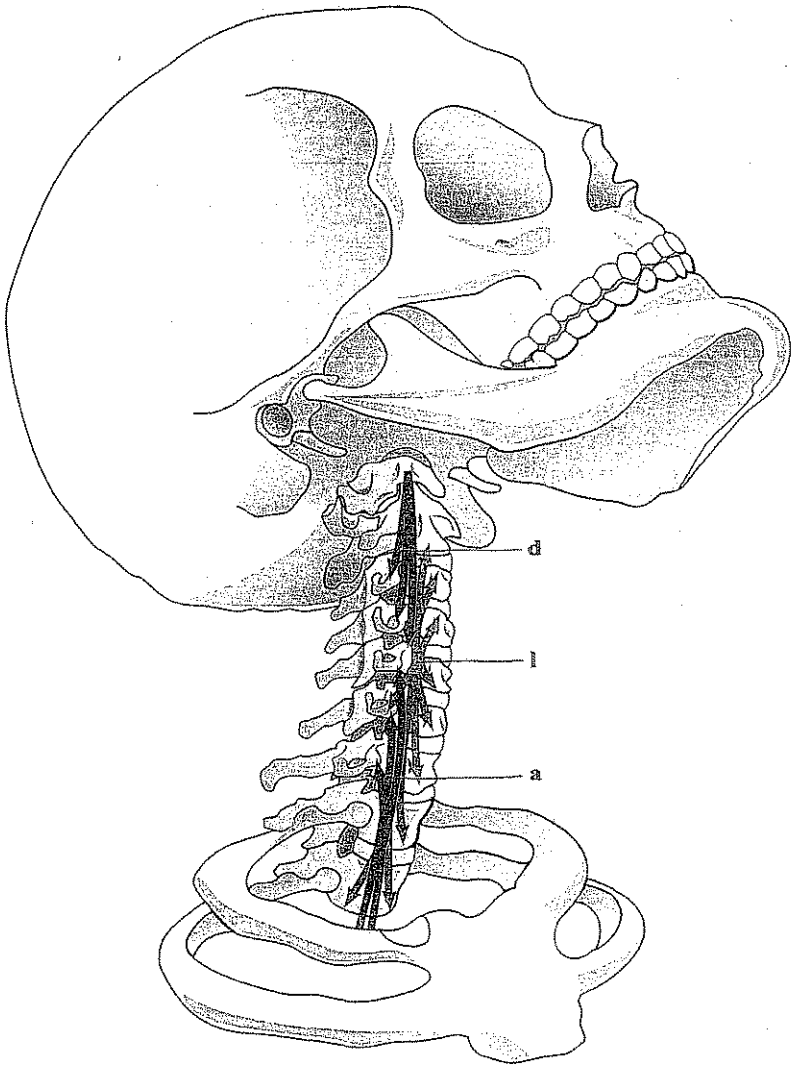


Fig. 71

Los músculos prevertebrales: los músculos largo de la cabeza, recto anterior de la cabeza y recto lateral de la cabeza

Estos tres músculos están ubicados en la parte superior del raquis cervical (**Fig. 72**). Cubren casi en su totalidad la parte superior de los tres haces **d**, **a** y **l** del músculo largo del cuello.

El músculo largo de la cabeza

El músculo largo de la cabeza **lc** es el más medial de los tres. Está en contacto con su homólogo opuesto y se fija en la cara inferior de la apófisis basilar por delante del foramen occipital. Cubre la parte superior del músculo largo del cuello **d** y finaliza mediante tendones diferenciados sobre los tubérculos anteriores de las apófisis transversas de la tercera, cuarta, quinta y sexta vértebras cervicales.
Es el motor del raquis cervical suboccipital y de la parte superior del raquis cervical inferior.
La contracción simultánea de dos músculos largos de la cabeza determina la **flexión de la cabeza** sobre el raquis cervical y el **enderezamiento de la lordosis** de la parte superior del raquis cervical.
La contracción unilateral determina la **flexión** y la **inclinación de la cabeza del lado de su contracción**.

El músculo recto anterior de la cabeza

El músculo recto anterior de la cabeza **ra** se localiza por detrás y por fuera del músculo largo de la cabeza y se extiende desde la apófisis basilar del hueso occipital y la cara anterior de la masa lateral del atlas, hasta el tubérculo anterior de su apófisis transversa. Su dirección es oblicua hacia abajo y ligeramente hacia fuera. La contracción simultánea de dos músculos homólogos determina una **flexión de la cabeza** sobre el raquis cervical en su parte alta, es decir a la altura de la **articulación atlantooccipital**. Su contracción unilateral conlleva un triple movimiento de **flexión, rotación e inclinación** del lado de su contracción. Estos movimientos acontecen en la **articulación atlantooccipital**.

El músculo recto lateral de la cabeza

El músculo recto lateral **rl** es el más craneal de los músculos intertransversos. Se inserta por arriba sobre la apófisis yugular del hueso occipital y por abajo sobre el tubérculo anterior del apófisis transversa del atlas. Se localiza por fuera del músculo recto anterior y cubre la cara anterior de la articulación atlantooccipital.
Su contracción bilateral desencadena una flexión de la cabeza sobre el raquis cervical. Su contracción unilateral conlleva una ligera inclinación del lado de su contracción, estos dos movimientos se localizan en la articulación atlantooccipital.

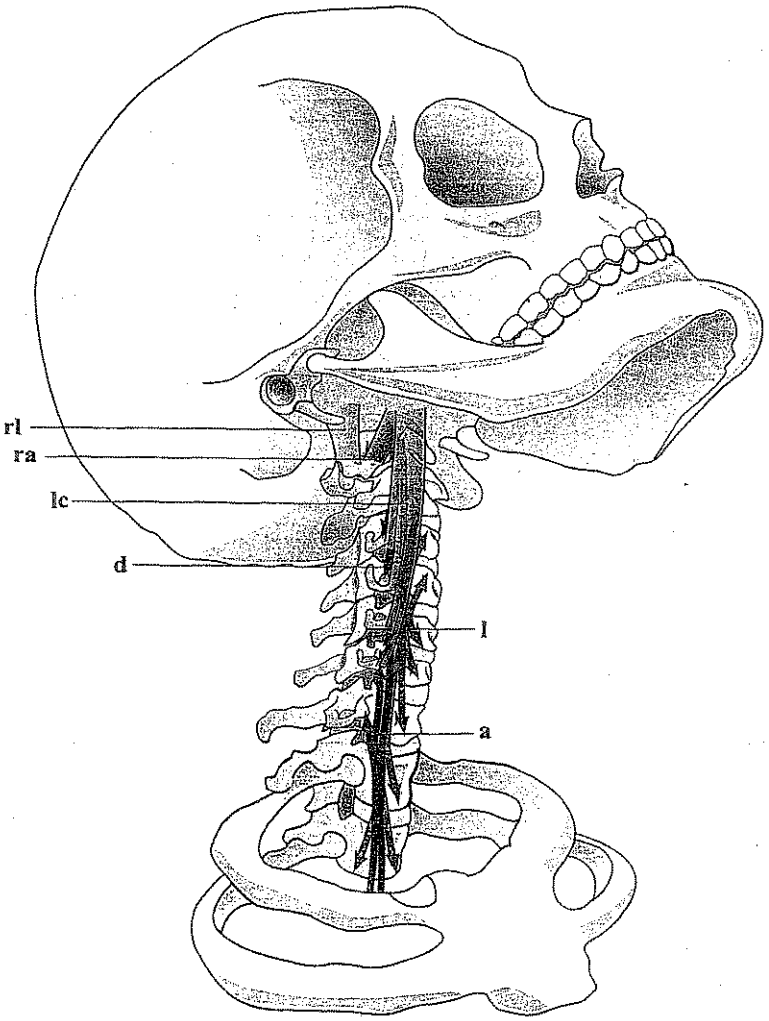


Fig. 72

Los músculos prevertebrales: los músculos escalenos

Los **tres músculos escalenos (Fig. 73)** se extienden sobre la cara anterolateral del raquis cervical como verdaderos **obenques musculares. Unen las apófisis** transversas cervicales a las 1ª y 2ª costillas.

El músculo escaleno anterior

El músculo **escaleno anterior ea, tiene forma** triangular de vértice inferior, se fija **mediante** cuatro tendones sobre los tubérculos anteriores de las apófisis tranversas de las tercera, cuarta, quinta y sexta vértebras cervicales. Sus fibras musculares convergen en un tendón que se inserta en el tubérculo de Lisfranc en la cara superior del extremo anterior de la primera costilla. La dirección general del cuerpo muscular del músculo escaleno anterior es oblicua hacia abajo, hacia delante y hacia fuera.

El músculo escaleno medio

El músculo escaleno medio **em**, ubicado por detrás y en contacto con el músculo escaleno anterior, se fija por arriba mediante seis lengüetas **tendinosas** sobre las apófisis transversas de las **seis últimas** vértebras cervicales, a la altura de los **tubérculos** anteriores y del reborde externo de la **corredera transversa** de las segunda, tercera, cuarta, quinta **y sexta** vértebras cervicales y sobre la apófisis **transversa** de la séptima vértebra cervical.
El cuerpo muscular aplanado de **delante atrás**, triangular de vértice inferior, se dirige **en oblicuo** hacia abajo, hacia fuera y ligeramente **hacia delante**, para finalizar en la cara superior de la **primera costilla**, justo por detrás de la corredera que imprime el paso de la arteria subclavia.

El músculo escaleno posterior

El músculo escaleno posterior **ep** se localiza por detrás de los dos anteriores. Se inserta por arriba mediante tres lengüetas tendinosas sobre los tubérculos posteriores de las apófisis transversas de las cuarta, quinta y sexta vértebras cervicales. Su cuerpo carnoso, aplanado transversalmente, se localiza por fuera y por detrás del músculos escaleno medio con el que se confunde más o menos. Entre los músculos escalenos anterior y medio pasan **las ramas originarias del plexo braquial y la arteria subclavia.**
La **contracción simétrica** de los músculos escalenos determina la **flexión del raquis cervical** sobre el raquis torácico, y una hiperlordosis si el raquis cervical no está rígido por la contracción del músculo largo del cuello. Sin embargo, si el raquis cervical está rígido por la acción del músculo largo del cuello, la contracción simétrica de los músculos escalenos conlleva **únicamente la flexión** del raquis cervical sobre el raquis torácico.
La **contracción unilateral** de los músculos escalenos (*véase* Fig. 75, pág. 245) determina la inclinación y la rotación del raquis del lado de la contracción.
Los músculos escalenos también son músculos inspiradores accesorios, cuando, tomando como punto fijo sus inserciones cervicales, elevan las dos primeras costillas.

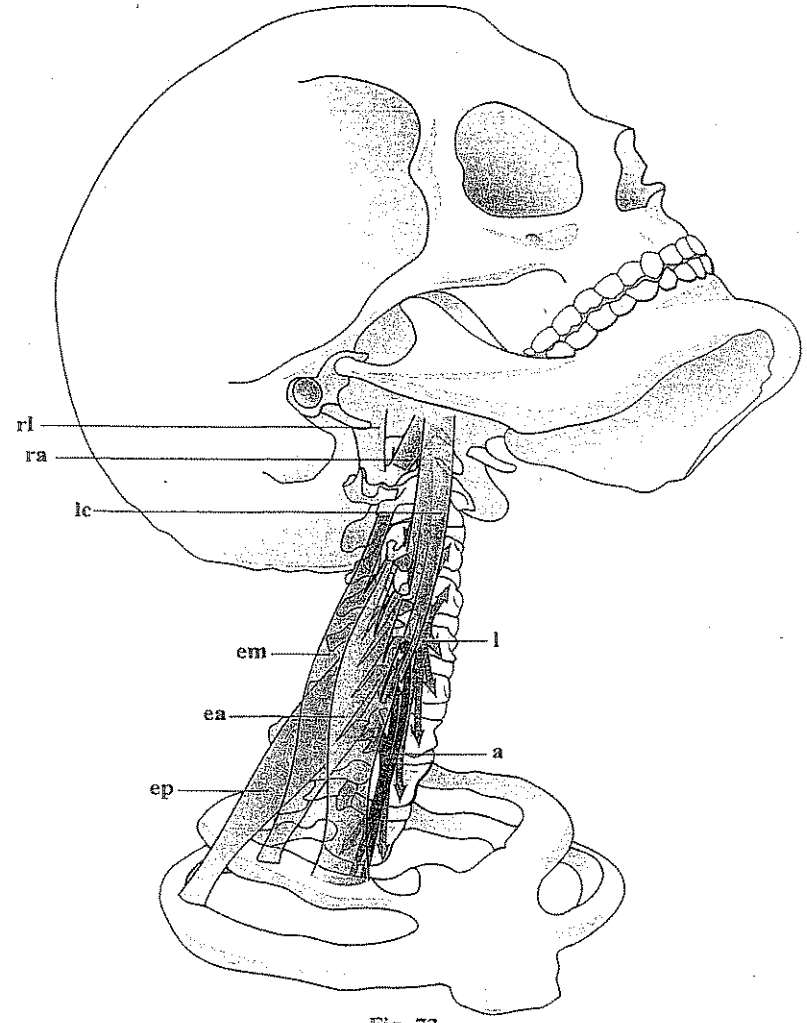


Fig. 73

Los músculos prevertebrales en conjunto

En una **figura de frente del raquis cervical (Fig. 74 según Testut)** permite situar la totalidad de los músculos prevertebrales:

- el músculo **largo del cuello** con su haz longitudinal **(lcl)**, sus haces oblicuos ascendentes **(lcoa)** y sus haces oblicuos descendentes **(lcod)**;
- el músculo **largo de la cabeza (lca)**;
- el músculo **recto anterior de la cabeza (ra)**;
- el músculo **recto lateral (rl)**;
- los **músculos intertransversos**, que están divididos en dos planos: los músculos intertransversos anteriores **(ita)** y los músculos intertransversos posteriores **(itp)**. La acción de estos músculos intertransversos sólo determina **la inclinación del raquis hacia el lado de su contracción (Fig. 75)**; esta acción está reforzada por la contracción unilateral de los músculos escalenos;
- el **músculo escaleno anterior (ea)**, dibujado entero sólo en la mitad derecha; mientras que en la mitad izquierda no está representado más que su tendón, lo que permite mostrar el músculo **escaleno medio (em)**;
- en cuanto al músculo **escaleno posterior (ep)**, sólo sobresale del escaleno medio en su parte más inferior, cuando se inserta en la segunda costilla.

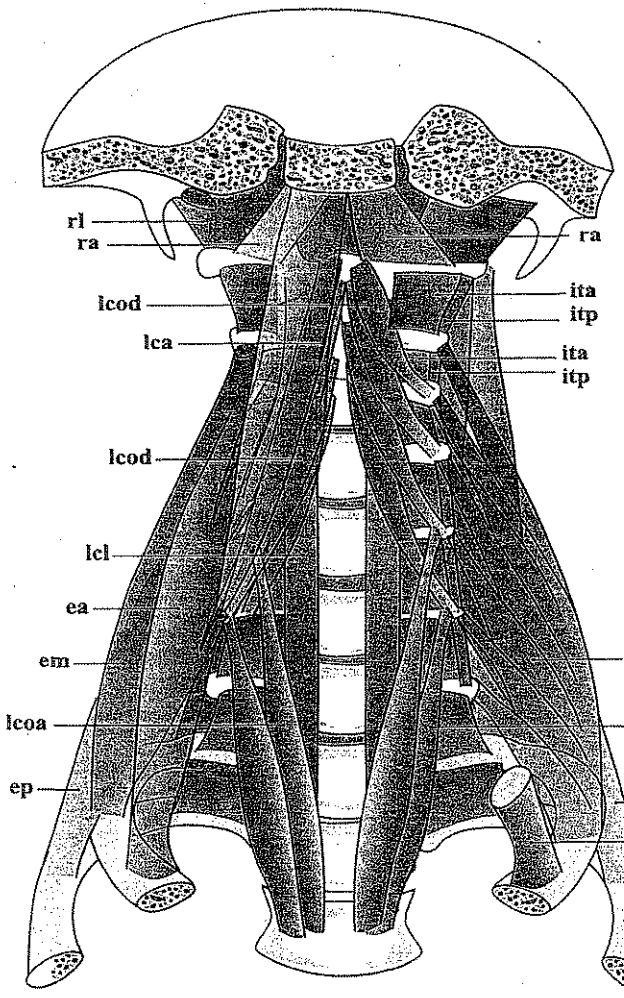


Fig. 74

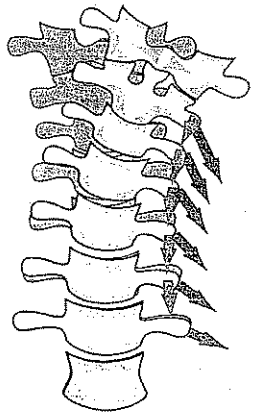


Fig. 75

La flexión de la cabeza y el cuello

La flexión de la cabeza sobre el raquis cervical y la flexión del raquis cervical sobre el raquis torácico dependen de los músculos anteriores.

En el **raquis cervical superior** (Fig. 76) los músculos recto anterior y largo de la cabeza (**lca**) determinan una flexión en la articulación atlantooccipital. El músculo largo del cuello (**lc1** y **lc2**) y el músculo largo de la cabeza determinan la flexión de las articulaciones subyacentes y, hecho importante, el músculo largo del cuello determina **el enderezamiento y la rectificación del raquis cervical** (Fig. 77).

A distancia del raquis cervical, y por tanto dotados de un mayor brazo de palanca, los **músculos anteriores del cuello** (Fig. 78) actúan como potentes flexores de la cabeza y del raquis cervical. Se trata de los músculos supra e infrahioideos:

- el **músculo milohioideo (mh)** y el vientre anterior del **músculo digástrico** (sin representar) que unen la mandíbula al hueso hioides;
- los **músculos infrahioideos**: tirohioideo, esternohioideo (**eh**), esternotiroideo (sin representar aquí) y omohioideo (**oh**).

La contracción simultánea de estos músculos determina el descenso de la mandíbula inferior; aunque cuando ésta está bloqueada contra la mandíbula superior por la contracción simultánea de los **músculos masticadores**, como el **músculo masetero** (**m**) y el **músculo temporal** (**t**), la contracción de los músculos supra e infrahioideos determina la flexión de la cabeza sobre el raquis cervical y la flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal, al mismo tiempo que un enderezamiento de la lordosis cervical. Por lo tanto, estos músculos desempeñan un papel primordial en la estática del raquis cervical.

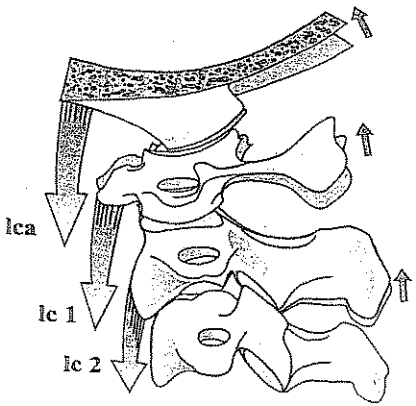


Fig. 76

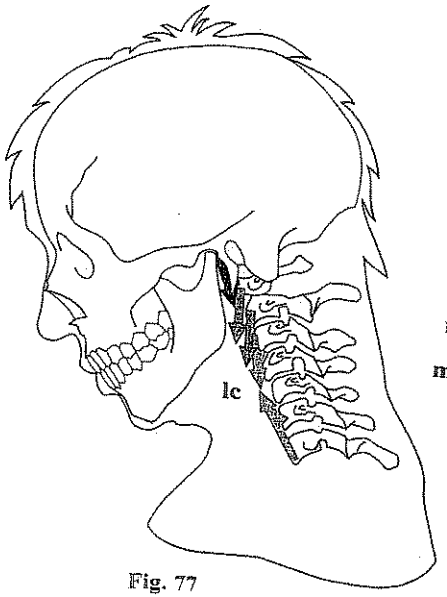


Fig. 77

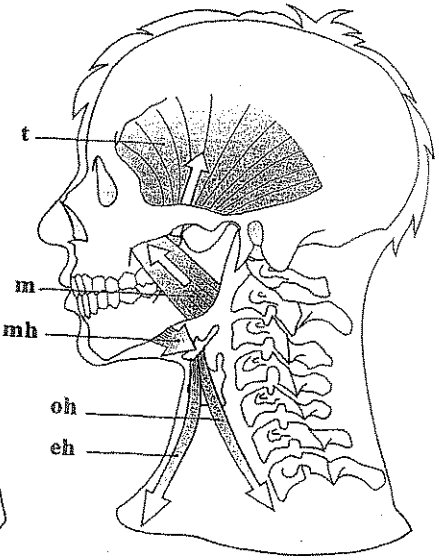


Fig. 78

Los músculos de la nuca

Antes de estudiar la fisiología de los **músculos de la nuca** es indispensable entender correctamente la disposición mediante un **corte en perspectiva (Fig. 79)**: en este caso se trata de **una visión posteroderecha de la nuca**, cuyos músculos superficiales se han resecado en parte a fin de poder ver los diferentes planos.
La zona de la nuca se compone de **cuatro planos musculares superpuestos**. De la profundidad a la superficie se puede observar:

- el plano profundo;
- el plano de los complejos;
- el plano de los esplenios y del elevador de la escápula;
- el plano superficial.

El plano profundo

Directamente aplicado a los huesos y articulaciones, el plano profundo contiene:

- los pequeños músculos motores del raquis suboccipital, que se extienden entre el hueso occipital, el atlas y el axis (visibles también en las figuras 80, 81 y 82, pág. 251);
- el músculo **recto posterior mayor de la cabeza** 1;
- el músculo **recto posterior menor de la cabeza** 2;
- los músculos **oblicuos inferior** 3 y **superior** 4 de la cabeza;
- la porción cervical de los músculos **transversoespinosos** 5;
- los músculos **interespinosos** 6;

El plano de los complejos

El plano de los complejos, resecado en parte, contiene dos músculos:

- el músculo **semiespinoso de la cabeza** 7 (a través del que puede observarse 1, 2, 3 y 4);
- el músculo **longísimo de la cabeza** 8.

En el mismo plano, más hacia fuera, se localizan el músculo transverso de la nuca; el músculo longísimo y la parte superior del **músculo iliocostal** 11.

El plano del músculo esplenio y del músculo elevador de la escápula

También resecado en parte, comprende:

- el **músculo esplenio**, dividido en dos partes, el **músculo esplenio de la cabeza** 9 y el **músculo esplenio del cuello** 10, una de cuyas digitaciones de inserción en el tubérculo posterior de la tercera apófisis transversa se ha respetado 10'; las otras dos (sin representar) que se insertan en el tubérculo posterior de la primera y de la segunda apófisis transversa se han seccionado;
- el músculo **elevador de la escápula** 12.

Estos músculos están estrechamente adosados a los del plano profundo, en cuyo alrededor se enrollan como si se tratara de una polea, de modo que su contracción posee **un importante componente de rotación.**

El plano superficial

El plano superficial comporta:
esencialmente el músculo **trapecio** 15, que en esta figura se ha resecado casi totalmente;
el músculo **esternocleidomastoideo**, que sólo forma parte de la región de la nuca en su porción posterosuperior. Aquí se ha representado parcialmente resecado para así mostrar sus porciones superficiales 14 y su porción profunda cleidomastoidea 14'.
En el fondo de la región comprendida entre los intersticios musculares, se pueden apreciar las inserciones superiores de los músculos **escalenos medio** y **posterior** 13.

Resumiendo

Aparte los músculos del plano profundo, la mayor parte de los músculos de la nuca son oblicuos hacia abajo, hacia dentro y hacia atrás, están adosados al plano profundo y determinan simultáneamente **la extensión, la rotación y la inclinación** hacia el lado de su contracción, es decir, exactamente los **tres componentes del movimiento mixto del raquis cervical inferior** en torno a los ejes oblicuos analizados con anterioridad.
En cambio, la **capa superficial** contiene músculos de dirección cruzada respecto a los planos intermedios; es decir, oblicua hacia abajo, hacia delante y hacia fuera y que, esta vez, no actúan directamente sobre el raquis cervical inferior, sino sobre el cráneo y el **raquis suboccipital**, en cuyo nivel determinan, como los de los planos subyacentes, la extensión y la inclinación hacia el lado de su contracción, aunque con una rotación hacia el lado opuesto. De este modo, son a la vez **sinergistas** y **antagonistas** de los músculos del plano profundo, a los que complementan funcionalmente.

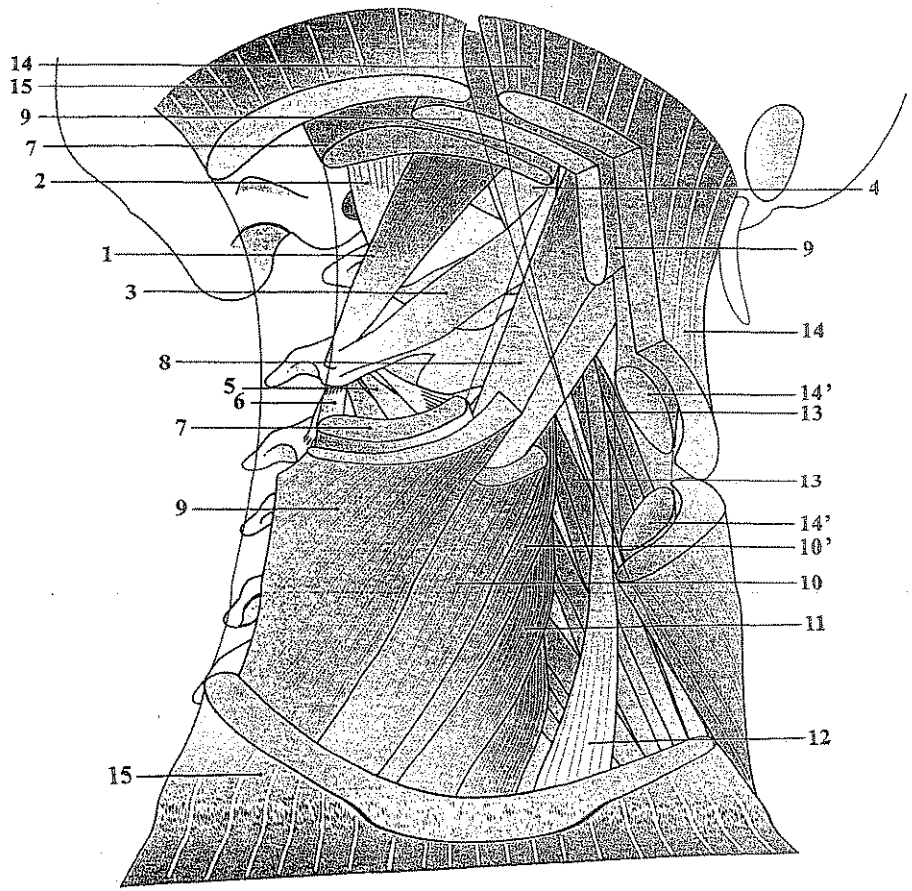


Fig. 79

Los músculos suboccipitales

Habitualmente apenas se presta atención a la fisiología de los pequeños músculos suboccipitales; esto se debe al hecho de que no se la considera un complemento de la fisiología del raquis cervical inferior. En realidad, el papel de estos músculos **"nonio"** es capital en la actitud de la cabeza, para acentuar los componentes deseados o eliminar los componentes no deseados, a partir del movimiento unívoco del raquis cervical inferior.

Antes de abordar su fisiología conviene repasar su disposición anatómica asimilando correctamente su dirección en el espacio. Para ello son necesarias tres visiones:

- una **visión posterior (Fig. 80)**;
- una **visión externa (Fig. 81)**;
- una **visión en perspectiva posteroderecha e inferior (Fig. 82)**.

De este modo se puede observar:

- el músculo **recto posterior mayor de la cabeza 1**, músculo triangular de base superior, se extiende desde la apófisis espinosa del axis hasta la línea curva inferior del hueso occipital. Su dirección es oblicua hacia arriba y ligeramente hacia fuera y hacia atrás;
- el músculo **recto posterior menor de la cabeza 2**, también plano y triangular, más corto y más profundo que el precedente, situado inmediatamente por fuera de la línea media, se extiende desde el tubérculo posterior del atlas, sobre su arco posterior, hasta el tercio interno de la línea curva occipital inferior. Su dirección es oblicua hacia arriba, ligeramente hacia fuera y más directamente hacia atrás que el músculo recto posterior mayor. Esto se debe al hecho de que el arco posterior del atlas es más profundo que la apófisis espinosa del axis;
- el músculo **oblicuo inferior de la cabeza 3**, músculo alargado, grueso y fusiforme, situado por encima y por fuera del músculo recto mayor, se extiende desde la apófisis espinosa del axis a la cara inferior y borde posterior de la apófisis transversa del atlas. Su dirección es oblicua hacia arriba, hacia fuera y hacia delante. Por lo tanto, está cruzada en el espacio en relación a los músculos precedentes, y en particular en lo que respecta al músculo recto posterior menor de la cabeza;
- el músculo **oblicuo superior de la cabeza 4**, músculo corto, plano y triangular, situado por detrás de la articulación atlantooccipital, se extiende desde la apófisis transversa del atlas al tercio externo de la línea curva inferior del hueso occipital. Su dirección es oblicua hacia arriba y hacia atrás. Prácticamente, está situado en el plano sagital, ya que no se dirige hacia fuera. Su dirección es paralela a la del músculo recto posterior menor y perpendicular a la del músculo oblicuo inferior;
- los músculos interespinosos 5, están situados a ambos lados de la línea media, entre las apófisis espinosas cervicales, por debajo del axis; de este modo, los músculos rectos posteriores mayor y menor son equivalentes de los músculos interespinosos.

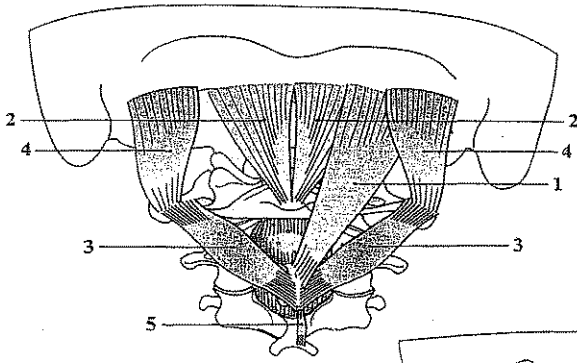


Fig. 80

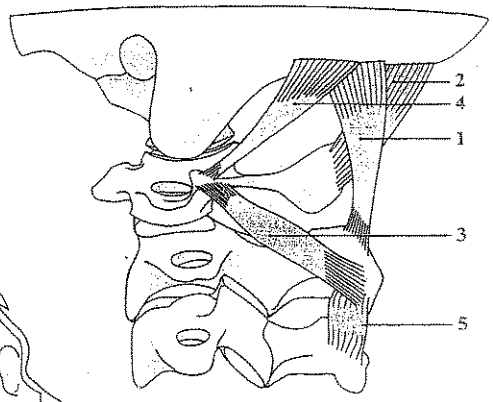


Fig. 81

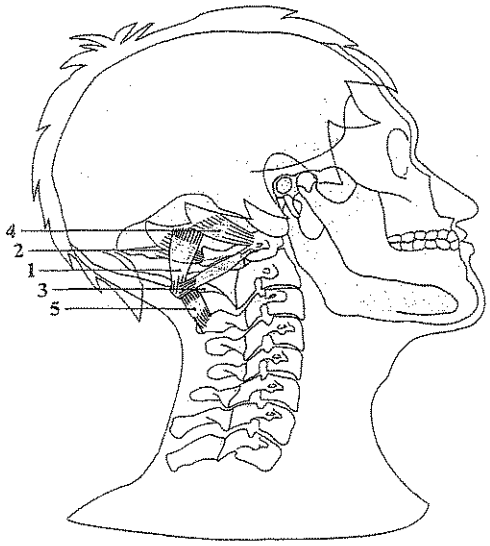


Fig. 82

Acción de los músculos suboccipitales: inclinación y extensión

Por su disposición, el **músculo oblicuo inferior de la cabeza**, desempeña un papel importante tanto en la estática como en la dinámica de la articulación atlantoaxial. De hecho, **una visión de perfil (Fig. 83)** muestra que al llevar hacia atrás las apófisis transversas del atlas, este músculo determina, cuando los dos oblicuos inferiores se contraen simétricamente, un movimiento de retroceso y de extensión del atlas sobre el axis, extensión que puede medirse en radiografías de perfil por el ángulo a en las masas laterales del atlas, o por el ángulo a´ en su arco posterior. Una **visión superior** (Fig. 84) muestra con claridad el movimiento de retroceso (r) determinado por la contracción simétrica de los dos músculos oblicuos, que, como la cuerda de un arco, propulsan el axis hacia delante por reacción del atlas hacia atrás. La **ruptura del ligamento transverso** (Fig. 85) no puede ser más que traumática (**flecha negra**), ya que en tiempo normal, los dos músculos oblicuos inferiores de la cabeza actúan simultáneamente y desempeñan pues un papel esencial en el mantenimiento dinámico de la articulación atlantoodontoidea. Es fácil darse cuenta de las consecuencias catastróficas de tal inestabilidad atlantoaxial superponiendo en una visión superior (Fig. 86) el canal vertebral del atlas y del axis más claro: por un mecanismo de guillotina, el bulbo raquídeo se halla comprimido, si no seccionado. La **zona grisácea** representa el canal vertebral estrechado, en el que se encuentra el bulbo raquídeo

La contracción unilateral de los cuatro músculos posteriores suboccipitales (**Fig. 87: visión posterior**) determina la inclinación de la cabeza hacia el lado de su contracción, por movilización en la articulación atlantooccipital. Este ángulo de inclinación i también se puede medir por el ángulo comprendido entre la línea horizontal de las apófisis transversas del atlas y la línea oblicua de las apófisis mastoides.
Ciertamente, el músculo **oblicuo superior de la cabeza 4** cuya contracción acarrea el alargamiento e de su homólogo opuesto. El músculo oblicuo superior toma como punto fijo la apófisis transversa del atlas, estabilizada a su vez por la contracción del músculo **oblicuo inferior de la cabeza 3**. El **músculo recto posterior mayor de la cabeza 1** es menos eficaz que el músculo posterior oblicuo superior y el músculo **recto posterior menor de la cabeza 2** apenas lo es debido a su proximidad a la línea media.
La contracción simultánea y bilateral de los músculos posteriores suboccipitales (**Fig. 88; visión lateral**) determina la extensión de la cabeza sobre el raquis cervical superior: esta extensión tiene lugar en la articulación atlantooccipital gracias a la contracción del músculo recto posterior menor de la cabeza 2 y del músculo oblicuo superior de la cabeza 4 y en la articulación atlantoaxial merced a la contracción del músculo recto posterior mayor de la cabeza 1 y del músculo oblicuo inferior de la cabeza 3 (**Fig. 87**).

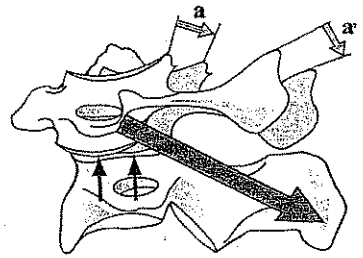


Fig. 83

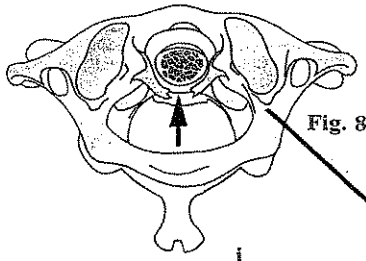


Fig. 85

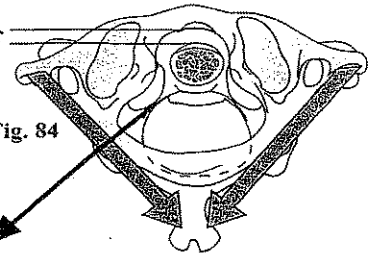


Fig. 84

Fig. 86

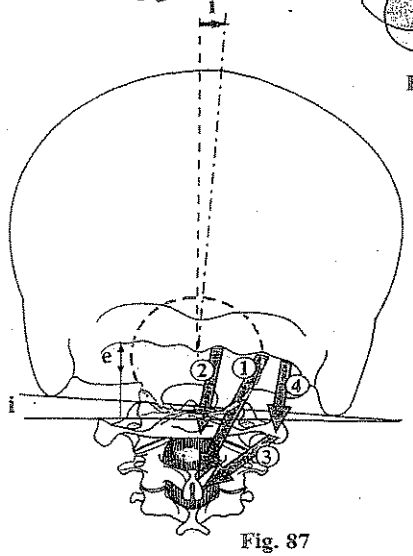


Fig. 87

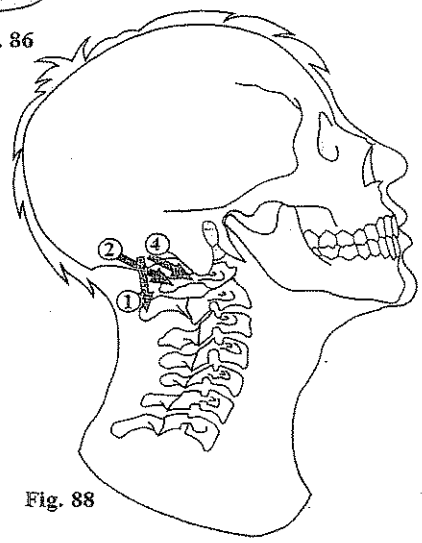


Fig. 88

Acción rotadora de los músculos suboccipitales

Además de sus acciones de extensión y de inclinación, los músculos suboccipitales están dotados de una acción rotadora sobre la cabeza.

En **una visión inferior (Fig. 89) el primer tramo suboccipital**, la articulación atlantooccipital hace aparecer con claridad que la contracción del **músculo oblicuo superior** 4 determina una rotación de la cabeza del orden de 10° de grados hacia el lado opuesto a su contracción. En el ejemplo que se ilustra aquí, la contracción del músculo oblicuo superior izquierdo determina la rotación de la cabeza hacia la derecha. En este caso se puede observar cómo se tensa de forma pasiva el músculo oblicuo superior derecho de la cabeza 4' y el músculo recto posterior menor de la cabeza 2, de modo que garantizan el **retorno de la cabeza a la posición neutra.**
En **una visión inferior (Fig. 90) del tramo subyacente**, el de la articulación atlantoaxial, el axis aparece de color rojo sobre el atlas. La contracción de los músculos **recto posterior mayor** 1 y **oblicuo inferior de la cabeza** 3 determinan una rotación de la cabeza del orden de 12° hacia el lado de su contracción. En el ejemplo ilustrado aquí, la contracción del músculo recto posterior mayor de la cabeza derecho 1 determina una rotación de la cabeza hacia la derecha, en las articulaciones atlantooccipital y atlantoaxial a la vez. En este caso, el músculo recto mayor izquierdo se alarga una longitud a que asegura el retorno de la cabeza a su posición neutra. La contracción del músculo **oblicuo inferior derecho** 3 determina la rotación de la cabeza hacia la derecha en la articulación atlantoaxial.
En una **visión en perspectiva superoderecha (Fig. 91)** la contracción del músculo **oblicuo inferior de la cabeza del lado derecho**, que se extiende diagonalmente entre la apófisis espinosa del axis y la apófisis transversa derecha del atlas, hace girar a este último hacia la derecha, a la par que alarga el músculo recto posterior mayor de la cabeza izquierdo (**Fig. 90**) una longitud **b**: se trata del músculo de regreso.
Se observa el plano sagital de simetría S del atlas girar 12° en relación al plano sagital del axis A bajo la acción del músculo oblicuo inferior de la cabeza.
Estas consideraciones sobre los músculos suboccipitales permiten entender mejor su papel en la anulación de los componentes no deseados de inclinación o de rotación en el transcurso de los movimientos puros de la cabeza, como demuestra el modelo mecánico.

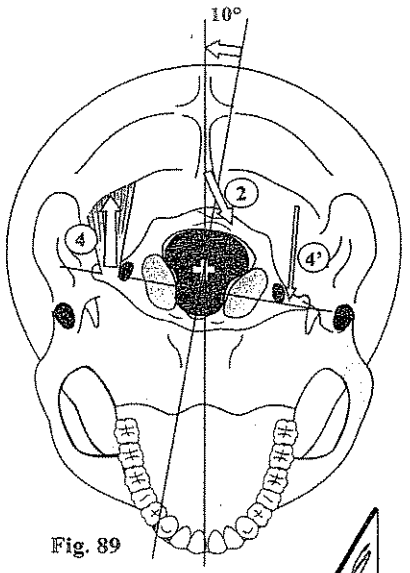


Fig. 89

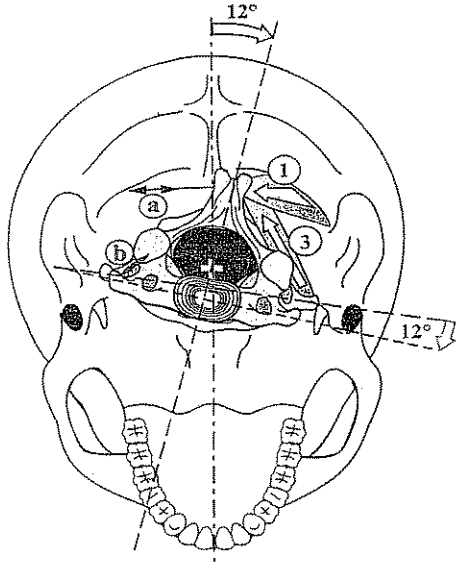


Fig. 90

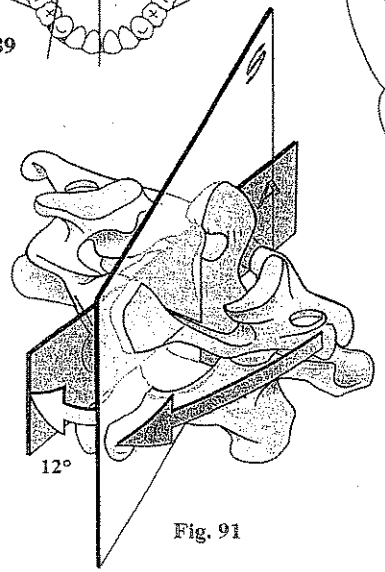


Fig. 91

Los músculos de la nuca: el primer y el cuarto planos

El plano profundo de los músculos de la nuca

Está constituido:

- en el raquis cervical superior por los músculos **suboccipitales** descritos con anterioridad;
- en el raquis cervical inferior por los músculos **transversoespinosos**.

Dispuestos contra el plano óseo, en la corredera formada por las apófisis espinosas, las láminas y las apófisis transversas, del axis al sacro, estos músculos están formados por lengüetas musculares que se recubren entre sí a modo de tejas.

La **disposición de las laminillas musculares** (Fig. 92) se ha interpretado de diversas formas según autores:

- en la descripción clásica de Trolard (lado derecho T), las fibras musculares que se originan en las apófisis espinosas y en las láminas de las cuatro vértebras suprayacentes convergen en la apófisis transversa de la quinta vértebra cervical;
- en una descripción más actual de Winckler (lado izquierdo W), los haces musculares tienen una disposición inversa.

Estas dos concepciones son dos formas distintas de describir una misma realidad, según se parta de la inserción superior o de la inferior. Sea como fuere, dado que la dirección de las fibras musculares es siempre oblicua hacia abajo, hacia fuera y ligeramente hacia delante, la contracción de los músculos transversoespinosos determina:

- cuando es **bilateral** y **simétrica**, una **extensión** del raquis cervical y una **hiperlordosis**. Se trata del músculo erector del raquis cervical;
- cuando es asimétrica o unilateral, la extensión, la inclinación hacia el lado de su contracción y la rotación del raquis hacia el lado opuesto. Por lo tanto, esta acción sobre el raquis se asemeja a la del músculo esternocleidomastoideo sobre la cabeza. Así, los músculos transversoespinosos son sinergistas del músculo esternocleidomastoideo, pero mientras que el primero actúa de manera segmentaria en cada uno de los tramos del raquis cervical, el segundo, cuyas fibras tienen una dirección general parecida a la de los transversoespinosos actúa sobre la totalidad del raquis cervical en cuyos extremos se inserta, mediante **dos brazos de palanca sumamente importantes**.

El plano superficial de los músculos de la nuca

Este **plano superficial** (Fig. 93) está constituido por el músculo **trapecio 2**, cuyas fibras, dispuestas en abanico, parten de una línea continua que ocupa, por una parte, el tercio interno de la línea curva superior del occipital, y por otra, las apófisis espinosas hasta la décima torácica y el ligamento nucal.

A partir de esta línea de inserción continua, las fibras más craneales descienden oblicuamente hacia abajo, hacia fuera y hacia delante y se fijan en el tercio externo de la clavícula, en el acromion y en la espina del escápula. De este modo, el contorno de la parte inferior del cuello esta constituido por la **curva envolvente** de las direcciones sucesivas de las fibras del trapecio. Este último, desempeña un papel primordial en la motricidad de la cintura escapular (*véase* tomo 1); pero cuando toma como punto fijo la cintura escapular **actúa de manera importante** sobre el raquis cervical y sobre la cabeza:

- la **contracción bilateral simétrica de los músculos trapecios** determina una **extensión** del raquis cervical y de la cabeza con **acentuación de la lordosis cervical.** Cuando esta extensión se ve contrarrestada por la acción de los músculos antagonistas anteriores del raquis cervical, el músculo trapecio desempeña una función de sostén de modo que estabiliza todo el raquis cervical;
- la contracción unilateral o asimétrica del trapecio (**Fig. 94**: visión dorsal y contracción del **músculo trapecio izquierdo**) determina una **extensión** de la cabeza y del raquis cervical con **hiperlordosis**, una **inclinación** hacia el lado de la contracción y una **rotación** de la cabeza hacia el lado opuesto. El músculo trapecio es pues sinergista del músculo esternocleidomastoideo homolateral.

En la parte superoexterna de la nuca (**Fig. 93**; **lado izquierdo**) aparece el extremo superior del músculo esternocleidomastoideo. Por consiguiente, el contorno externo de la parte superior de la nuca está constituido por la **curva envolvente** de las diferentes direcciones sucesivas de las fibras musculares del músculo esternocleidomastoideo retorcido sobre su eje.

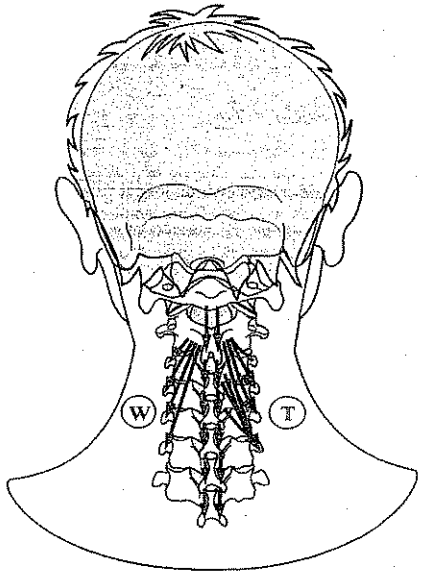


Fig. 92

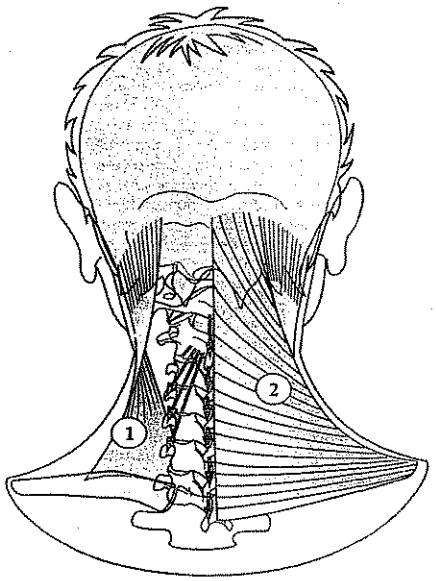


Fig. 93

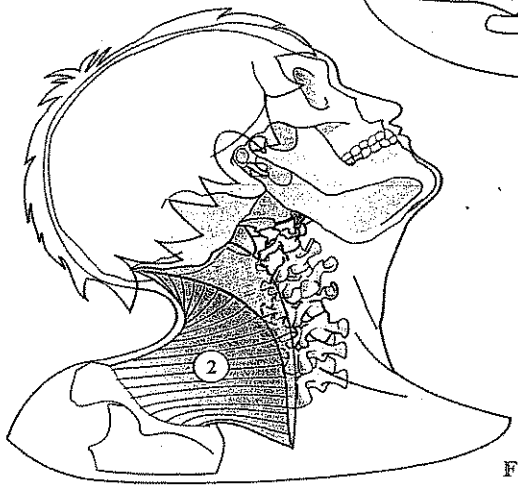


Fig. 94

Los músculos de la nuca: el segundo plano

El segundo plano muscular, situado directamente sobre el plano más profundo (**Fig. 95**), está constituido por el músculo semiespinoso de la cabeza, el músculo longísimo de la cabeza y por el músculo longísimo del tórax, el músculo longísimo del cuello y la parte superior del músculo iliocostal.

El músculo semiespinoso de la cabeza 7 situado inmediatamente por fuera de la línea media, forma una banda muscular vertical, interrumpida por una intersección aponeurótica que le ha valido la denominación de músculo "digástrico de la nuca". El músculo semiespinoso de la cabeza, se fija por abajo en las apófisis transversas de las seis primeras vértebras torácicas, en la base de las apófisis transversas de las cuatro últimas vértebras cervicales y en las apófisis espinosas de la séptima vértebra cervical y de la primera vértebra torácica.

Su cuerpo muscular, grueso y redondeado, recubre el músculo longísimo del tórax y termina de rellenar la corredera vertebral, está separado de su homólogo por el ligamento nucal. Los dos músculos esplenios 9 y 10 (**Fig. 96**) se encajan en la convexidad del músculo semiespinoso de la cabeza y éste finaliza en la concha occipital, por fuera de la cresta occipital externa y entre las dos líneas curvas.

La **contracción simétrica** y **bilateral** del músculo semiespinoso de la cabeza determina la **extensión** de la cabeza y del raquis cervical con **hiperlordosis**.

Su **contracción asimétrica** o **unilateral** determina una extensión de la cabeza asociada a una **ligera inclinación** hacia el lado de su contracción.

El **músculo longísimo de la cabeza 8**, situado por fuera del precedente, largo y delgado, se dirige hacia arriba y ligeramente hacia fuera fijándose por abajo en la base de las apófisis transversas de las cuatro últimas vértebras cervicales y de la primera vértebra torácica y, por arriba, en el vértice y borde posterior de la apófisis mastoides. Su cuerpo muscular está retorcido sobre sí mismo ya que sus fibras más caudales terminan siendo las más internas por arriba, mientras que las más craneales en el origen cervical son las más externas sobre la apófisis mastoides.

Su **contracción bilateral** y **simétrica** determina la **extensión** de la cabeza. Cuando esta extensión se ve contrarrestada por la acción de los músculos antagonistas anteriores, el músculo longísimo de la cabeza estabiliza lateralmente la cabeza, a modo de cable de sostén invertido.

Su **contracción unilateral** o **asimétrica** determina la **extensión** asociada a la **inclinación** del mismo lado, más acentuada que en el músculo semiespinoso de la cabeza y además, una rotación homóloga.

El **músculo longísimo del cuello 11**, largo y delgado, está situado por fuera del músculo longísimo de la cabeza y se inserta por arriba en el vértice de las cinco últimas apófisis transversas cervicales y por abajo, en el vértice de las apófisis transversas de las cinco primeras vértebras dorsales. Las fibras más internas son las más cortas entre C7 y D5. Las fibras externas son las más largas y unen de C3 a D5.

La **contracción simétrica** de los dos músculos longísimos del tórax determina la extensión del raquis cervical inferior. Cuando esta extensión se ve contrarrestada por la acción de los músculos antagonistas, los músculos longísimos del tórax actúan de sostén.

La **contracción unilateral** o **asimétrica** de un músculo longísimo del tórax determina la **extensión** y una **inclinación homolateral.**

El músculo longísimo del tórax forma parte de los músculos de la nuca por sus inserciones más craneales sobre las últimas apófisis transversas cervicales. Por otra parte, se confunde, en mayor o menor grado, con la porción cervical del músculo iliocostal 11' que, originándose en el borde superior de las seis primeras costillas finaliza junto con el músculo longísimo del cuello en el tubérculo posterior de las cinco últimas apófisis transversas. Sus acciones son parecidas a las del músculo longísimo del tórax; además, la porción cervical del músculo iliocostal desempeña la función de sostén muscular del raquis cervical inferior y de **elevador de las seis primeras costillas** (*véase* pág. 162).

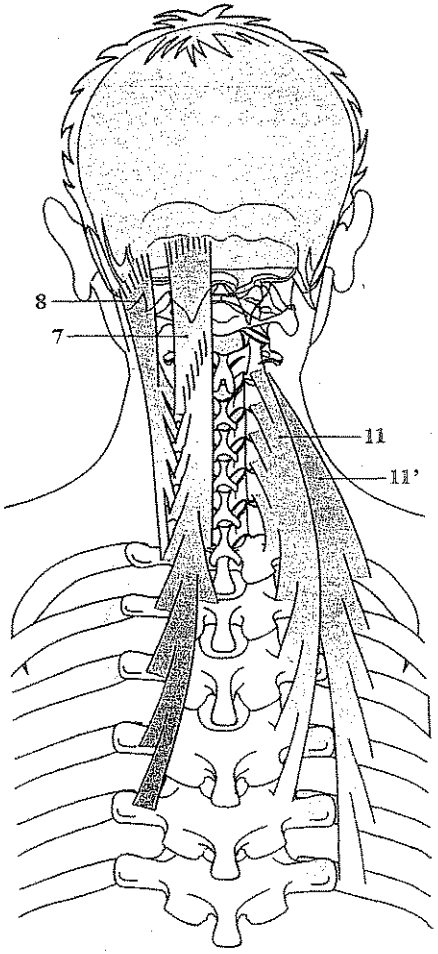


Fig. 95

Los músculos de la nuca: el tercer plano

Por debajo del músculo trapecio se halla el **tercer plano muscular de la nuca** (Fig. 96) constituido por el músculo esplenio y el músculo elevador de la escápula.

El **músculo esplenio 9** y **10** desciende hasta la región torácica y se inserta en las seis últimas apófisis espinosas cervicales, el ligamento nucal, las cuatro primeras apófisis espinosas torácicas y el ligamento interespinoso. Sus fibras se dirigen oblicuamente hacia abajo, hacia fuera y hacia delante, enrollándose en los músculos del plano profundo, para acabar con **dos porciones distintas**:

- una **porción cefálica que forma el músculo esplenio de la cabeza 9** y que se inserta en el hueso occipital, por debajo del músculo esternocleidomastoideo en la mitad externa de la línea curva occipital superior y en la apófisis mastoides. Recubre de manera incompleta el músculo semiespinoso de la cabeza y el músculo longísimo de la cabeza, que se localizan en el triángulo compuesto por el borde interno de los músculos esplenios;
- una **porción cervical** que forma el **músculo esplenio del cuello 10** que se ha representado en el lado izquierdo con sus conexiones con el músculo esplenio de la cabeza, y en el lado derecho aislado para mostrar como se enrolla sobre sí mismo, así como las lengüetas terminales que van a insertarse sobre las apófisis transversas del atlas, del axis y de la tercera vértebra cervical.

La **contracción bilateral** y **simétrica** del músculo esplenio determina una **extensión** de la cabeza y del raquis con **hiperlordosis**.

La **contracción asimétrica** o **unilateral** del músculo esplenio determina una **extensión**, una **inclinación** y una **rotación** hacia el lado de su contracción, es decir, en el sentido del movimiento unívoco del raquis cervical inferior.

El **músculo elevador de la escápula 12** se sitúa por fuera del músculo esplenio del cuello y posee con éste inserciones superiores comunes sobre las apófisis transversas de las cuatro primeras vértebras cervicales. Su cuerpo muscular plano se enrolla gracias al mismo movimiento que el del músculo esplenio, aunque se separa rápidamente para dirigirse oblicuamente hacia abajo y ligeramente hacia fuera y fijarse sobre la escápula.

Cuando toma como punto fijo el raquis cervical, el músculo elevador de la escápula determina una elevación de la escápula (*véase* tomo 1). En cambio, cuando la escápula está fija, se convierte en motor del raquis cervical.

Su contracción bilateral y simétrica determina una extensión del raquis cervical con hiperlordosis. Cuando los músculos antagonistas no permiten llevar a cabo esta extensión, actúa como sostén estabilizando lateralmente el raquis cervical.

Su contracción unilateral o asimétrica conlleva, como en el caso del músculo esplenio del cuello, una extensión con inclinación y rotación hacia el lado de su contracción y, por lo tanto, en el sentido del movimiento unívoco del raquis cervical inferior.

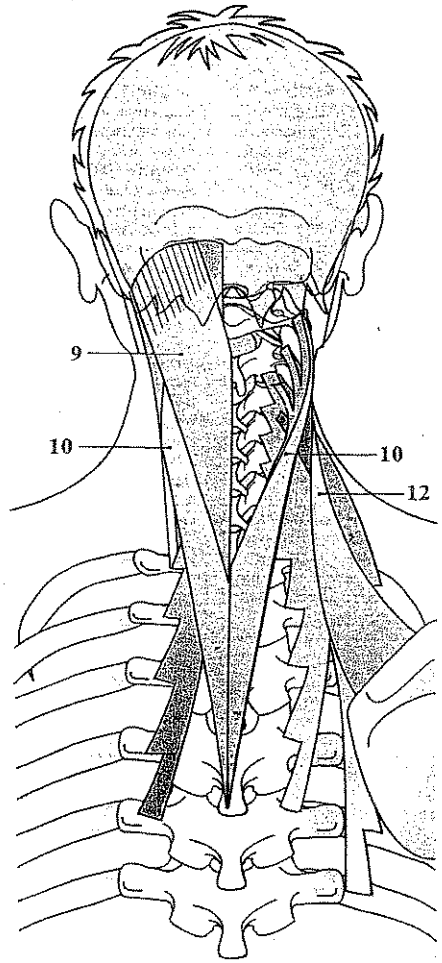


Fig. 96

La extensión del raquis cervical por los músculos de la nuca

Todos los músculos de la nuca son extensores del raquis cervical y de la cabeza, pero, según su disposición, se pueden clasificar en tres grupos.

Un primer grupo (**Fig. 97**) contiene todos los músculos que se insertan en el raquis cervical a la altura de las apófisis transversas y que se dirigen oblicuamente hacia abajo y hacia atrás hasta la región torácica. Se trata de:

- el músculo esplenio del cuello **1**;
- el músculo longísimo del cuello y la porción cervical del músculo iliocostal **2**;
- el músculo elevador de la escápula **3**.

Estos músculos son extensores del raquis cervical con hiperlordosis. Su contracción unilateral determina, además, la inclinación y rotación hacia el lado de su contracción: son los músculos motores del movimiento unívoco del raquis cervical inferior.

El segundo grupo (**Fig. 98**) comprende los músculos de dirección oblicua hacia abajo y hacia delante:

- por una parte, los músculos transversoespinosos 4, músculos propios del raquis cervical inferior;
- por otra, los músculos que unen el hueso occipital al raquis cervical inferior: el músculo semiespinoso de la cabeza 6, el músculo longísimo de la cabeza 7, el músculo esplenio de la cabeza, sin representar en esta figura, forman parte de este grupo;
- por último, los músculos suboccipitales sin representar (*véanse* págs. 250-254).

Todos estos músculos extienden el raquis cervical con hiperlordosis y extienden la cabeza sobre el raquis cervical debido a sus inserciones directas en el hueso occipital.

Finalmente, un tercer grupo de músculos que pasan a modo de puente por encima del raquis cervical, en el que no toman ninguna inserción. De este modo, unen directamente el hueso occipital y la apófisis mastoides a la cintura escapular. Se trata de:

- por una parte, el músculo **trapecio** (**8**, **Fig. 79**, y **9** **Fig. 93**);
- por otra, el músculo **esternocleidomastoideo** (**Fig. 99**), sistema diagonal que cruza la dirección del raquis cervical y cuya contracción bilateral y simétrica tiene tres consecuencias: la **extensión** de la cabeza sobre el raquis cervical **10**, la **flexión** del raquis cervical sobre el raquis torácico 9, y la **extensión** del raquis cervical sobre sí mismo con **hiperlordosis 11**.

La estática del raquis cervical sobre el plano sagital (**Fig. 100**) depende pues de un **equilibrio dinámico permanente** entre:

- por una parte, **la acción extensora de los músculos de la nuca**: músculos esplenios (Esp), músculo longísimo del cuello, músculo iliocostal y músculo longísimo del tórax (Lt) y trapecio (T). Todos ellos forman cuerdas parciales o totales en la concavidad de la lordosis cervical;
- por otra, los **músculos anteriores y anteroexternos**;
- el músculo largo del cuello (Lc), que es flexor y endereza la lordosis cervical;
- los músculos escalenos (Esc) que flexionan el raquis cervical sobre el raquis torácico, aunque tienden a determinar una hiperlordosis cervical si su acción no se ve compensada por el músculo largo del cuello y por los músculos supra e infrahioideos (*véase* Fig. 78, pág. 247).

La contracción simultánea de todos estos grupos musculares determina una **rectificación del raquis cervical** en su posición media. De este modo, estos músculos se comportan como cables de sostén situados en el plano sagital y en los planos oblicuos. Desempeñan un papel primordial en el **equilibrio de la cabeza** y el transporte de cargas sobre la misma, lo que, en algunas poblaciones, es un medio habitual de transportar cargas dejando las manos libres. Esta costumbre, tiene sin duda como efecto, el refuerzo de la estructura del raquis cervical y la potencia de todos los músculos del cuello.

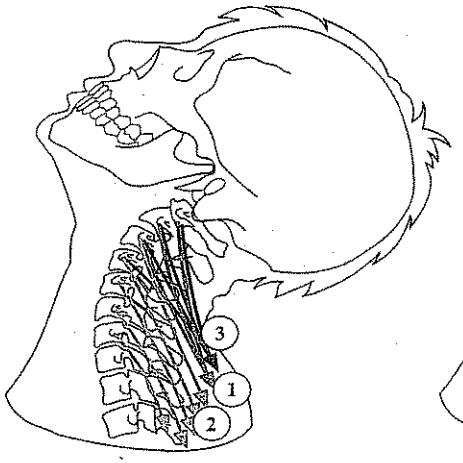


Fig. 97

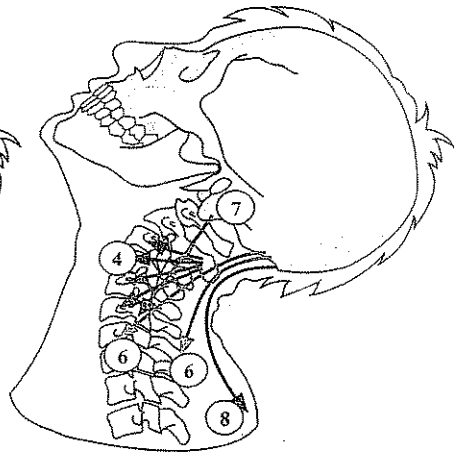


Fig. 98

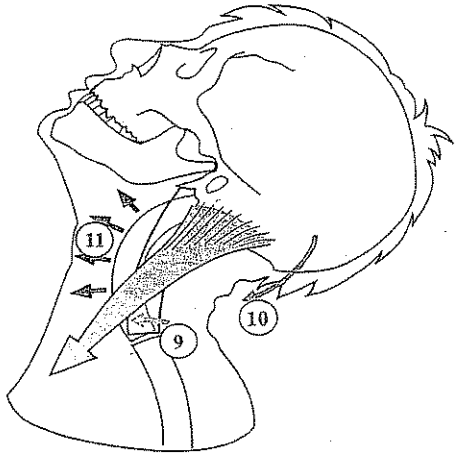


Fig. 99

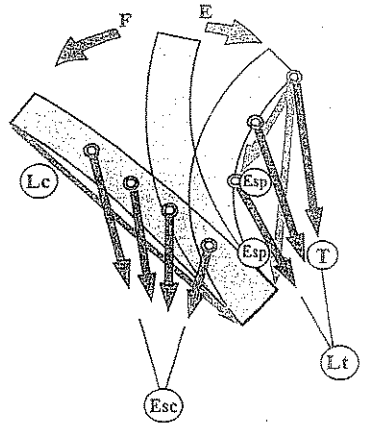


Fig. 100

Sinergia-antagonismo de los músculos prevertebrales y del músculo esternocleidomastoideo

La figura 99 (*véase* pág. 263) ilustra perfectamente el resultado de la contracción simétrica, pero aislada, de los músculos esternocleidomastoideos ECM: no pueden, por sí solos, actuar eficazmente para mantener el equilibrio de la cabeza y la estática del raquis cervical.

Para ello es necesaria la ayuda de los músculos sinergistas-antagonistas, que previamente enderezarán la lordosis cervical (**Fig. 101**). Se trata de:

- esencialmente, el **músculo largo del cuello** (Lc), situado inmediatamente por delante de los cuerpos vertebrales. Endereza el arco formado por la lordosis cervical gracias a su situación en la convexidad del citado arco;
- los músculos flexores de la cabeza sobre el raquis cervical (**Fig. 102**) situados en el tramo suboccipital: músculos largo de la cabeza, recto anterior de la cabeza y músculo recto lateral de la cabeza;
- por otra parte, los músculos supra e infrahioideos actúan a distancia sobre un gran brazo de palanca situado por delante del raquis cervical, a condición de que la contracción de los músculos masticadores bloquee la mandíbula sobre el hueso maxilar.

A partir del momento en que se rectifica el raquis cervical, la lordosis enderezada (**Fig. 103**) y la extensión de la cabeza sobre el raquis cervical impedida por los músculos suboccipitales anteriores y los supra e infrahioideos, la contracción simultánea de los dos músculos esternocleidomastoideos ECM (**Fig. 104**) determina la flexión del raquis torácico sobre el raquis torácico. Por lo tanto, existen nexos de antagonismo-sinergia entre los músculos esternocleidomastoideos ECM por una parte, y por otra, los músculos prevertebrales bien en contacto con el raquis, bien a distancia por delante del mismo.

Al cargar peso sobre la cabeza, todos los músculos se contraen simultáneamente, en estado de equilibrio dinámico permanente que transforma el conjunto de la cabeza y el cuello en un bloque a la vez rígido y flexible, en el vértice del edificio raquídeo. ¡Es el triunfo de la bipedestación...!

Este ejercicio se recomienda a todas aquellas mujeres que quieren conseguir un porte de reina.

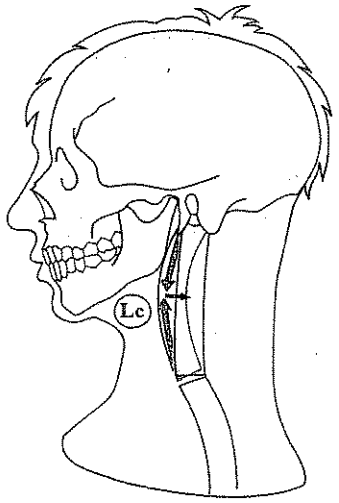


Fig. 101

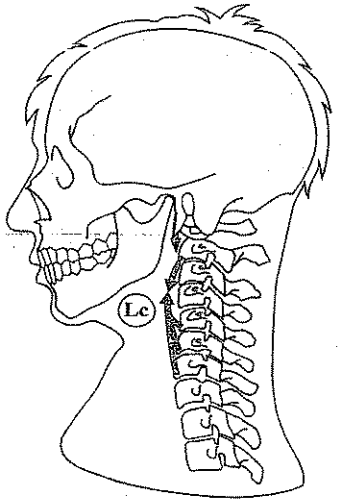


Fig. 102

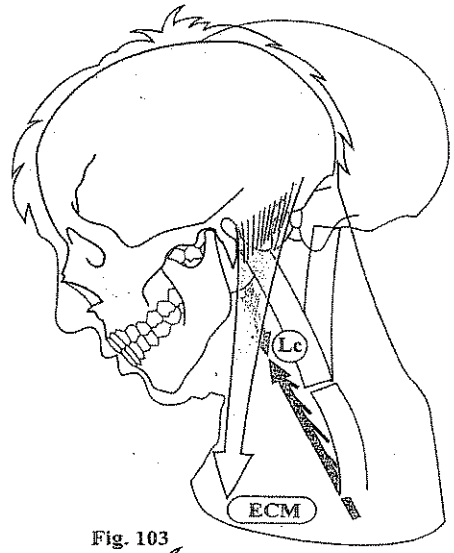


Fig. 103

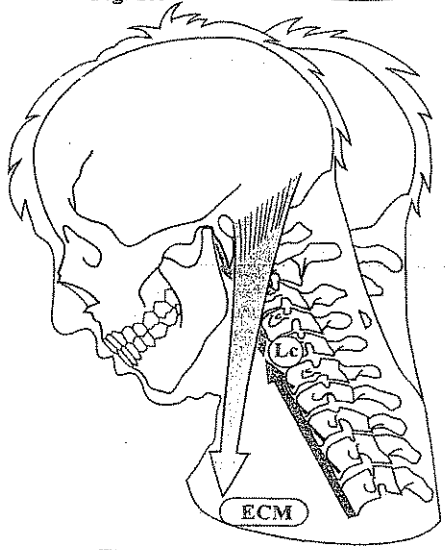


Fig. 104

Las amplitudes globales del raquis cervical

¿Cómo se pueden medir de forma práctica las amplitudes del raquis cervical? En el caso de la flexoextensión y de la inclinación se puede llevar a cabo de manera precisa en radiografías de perfil y de frente, pero en el caso de las rotaciones es mucho más difícil: es necesario recurrir al escáner o a la resonancia magnética (RM).

También se pueden utilizar puntos de referencia clínicos externos. En el caso de la **flexoextensión** (**Fig. 105**), el punto de referencia es el plano masticatorio, que, en posición neutra, es horizontal. Es posible materializarlo solicitando que se sujete una hoja acartonada con la boca, entre los maxilares, lo que representa entonces el citado plano. La extensión E será entonces el ángulo abierto por arriba, formado por el plano masticador y la horizontal. La flexión F será entonces el ángulo abierto por abajo, entre el plano masticador y la horizontal. Las amplitudes ya se han definido con anterioridad, pero son muy variables en función del individuo.

La medición de la **rotación de la cabeza y del cuello** (**Fig. 106**) se puede realizar con el sujeto sentado en una silla e inmovilizando correctamente su cintura escapular. Se tomará en cuenta entonces como referencia la línea de los hombros, y la rotación se medirá por el ángulo R formado por esta línea de referencia y el plano frontal que pasa por las orejas, o bien por el ángulo R´ formado por el plano sagital de la cabeza con el plano sagital del cuerpo. Se puede efectuar una medición más precisa con el individuo en decúbito supino sobre un plano duro y horizontal, con un **goniómetro de burbuja** (o inclinómetro) fijo en la frente en un plano transversal.

Para medir la **inclinación** (**Fig. 107**), se tomará en cuenta el ángulo formado por dos líneas, por una parte, la línea de las clavículas, y por otra, la línea de los ojos.

Se puede conseguir una medición más exacta de la flexoextensión y de la inclinación utilizando un **goniómetro de burbuja** que se fijará en el cráneo, bien en el plano sagital para medir la flexoextensión, bien en el plano frontal para medir la inclinación.

Existe otro movimiento, poco utilizado en occidente, pero muy habitual en las bailarinas balinesas (**Fig. 108**): el movimiento de traslación lateral de la cabeza, sin inclinación alguna. Este movimiento sólo puede considerarse correcto cuando la línea de los ojos permanece paralela a sí misma... Es necesario entonces haber asimilado correctamente lo que se explicó al inicio de este capítulo sobre los movimientos compensatorios de las articulaciones suboccipitales. El secreto consiste en llevar a cabo contra-contra-compensaciones. De este modo, partiendo de la posición unívoca del raquis cervical inferior de inclinación a la derecha, rotación-extensión, es necesario efectuar en el complejo suboccipital una contra-rotación izquierda, flexión (ligera) y sobre todo contra-inclinación hacia la izquierda para desplazar el meridiano de la nariz hacia la vertical. El concurso ha comenzado...

NB: es muy fácil llevar acabo este movimiento, denominado el de las balinesas, en el modelo mecánico del raquis cervical que puede construirse (*véase* pág. 324).

El goniómetro de burbuja se emplea poco en fisiología articular, aunque indica el ángulo en relación a la vertical, lo que puede ser de mucha utilidad. Sin embargo, el goniómetro de burbuja está presente en el cuadro de mandos de los aviones (aviones comerciales, etc.): indica la inclinación lateral del avión.

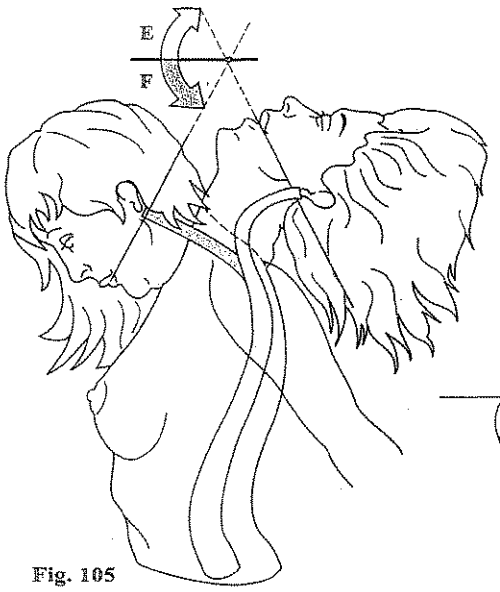


Fig. 105

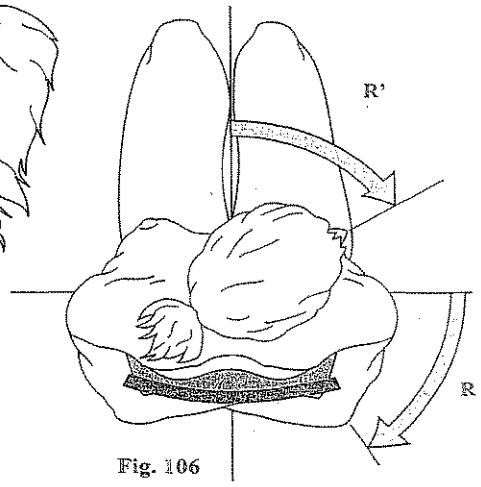


Fig. 106

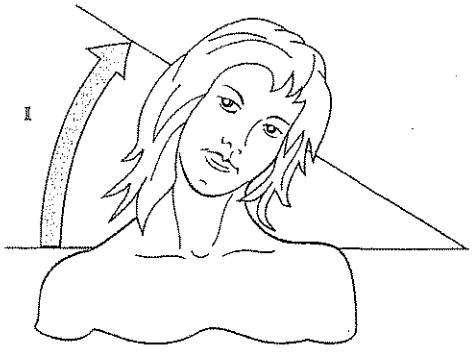


Fig. 107

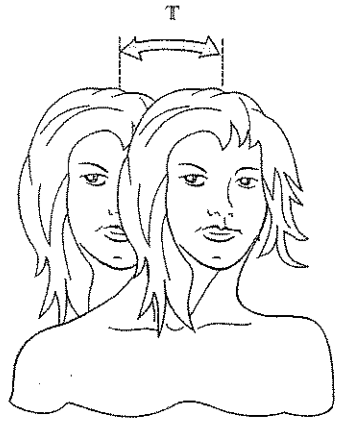


Fig. 108

Nexos entre el eje nervioso y el raquis cervical

El sistema nervioso cerebroespinal se encuentra dentro de la caja craneal y del canal raquídeo. En el raquis cervical, el canal raquídeo protege el bulbo raquídeo, que sale del cráneo por el agujero occipital, y la médula espinal, que emite las raíces del plexo cervical y del plexo braquial.

Por lo tanto, el bulbo raquídeo y la médula espinal cervical contraen estrechos nexos con elementos muy móviles del raquis cervical, sobre todo a nivel del raquis suboccipital en una **zona de transición mecánica** muy específica (**Fig. 109, visión en perspectiva anterior derecha**). De hecho, desde su salida por el agujero occipital, el bulbo raquídeo B, prolongado por la médula espinal M, se sitúa entre los dos cóndilos occipitales C y por detrás de ellos. A este nivel constituyen los **dos puntos de apoyo del cráneo** sobre la columna cervical. Ahora bien, entre los cóndilos occipitales y la tercera vértebra cervical, el atlas y el axis van a distribuir el peso de la cabeza entre tres columnas, soportado en principio por las dos columnas de los cóndilos. Estas tres columnas, que se prolongan a lo largo de todo el raquis, son:

- la **columna principal** de los cuerpos vertebrales 1 situada por delante de la médula espinal;
- las dos **columnillas laterales** de las apófisis articulares 2 y 3, situadas a ambos lados de la médula espinal.

La división de las líneas de fuerza se efectúa a nivel del axis que, de este modo, representa así un verdadero **distribuidor de fuerzas** entre el cráneo y el atlas por una parte, y el resto de la columna cervical por otra. De hecho, en una **visión de perfil** (**Fig. 110**), puede constatarse que las fuerzas que soportan cada uno de los cóndilos occipitales C se dividen en dos:

- por una parte, hacia delante y hacia dentro, las principales fuerzas estáticas recaen sobre los cuerpos vertebrales CV a través del cuerpo del axis;
- por otra, las fuerzas dinámicas recaen sobre la columna de las apófisis articulares A, hacia atrás y hacia fuera, a través del pedículo vertebral del axis y la apófisis articular inferior situada debajo del arco posterior del axis.

Por lo tanto, esta zona suboccipital representa, a la vez, el **pivote**, el punto más móvil del raquis cervical, y el lugar más solicitado mecánicamente. Lo que equivale a reconocer la importancia de los elementos de unión ligamentosa y de los factores óseos de estabilidad, de los que el principal es la **apófisis odontoides**. Una fractura en la base de la apófisis odontoides produce la completa inestabilidad del atlas sobre el axis, que puede así bascular hacia atrás, o lo que es peor, hacia delante, verdadera luxación anterior del atlas sobre el axis con la consiguiente compresión del bulbo raquídeo y muerte inmediata.

Otro elemento muy importante de la estabilidad del atlas sobre el axis es el **ligamento transverso**, cuya ruptura acarrea la luxación anterior del atlas sobre el axis, permaneciendo la apófisis odontoides en el sitio y comprimiendo y lesionando gravemente el bulbo raquídeo (*véanse* Figs. 84, 85 y 86, pág. 253). De nuevo se da una muerte súbita. No obstante, las rupturas del ligamento transverso no son tan frecuentes como las fracturas de la apófisis odontoides.

En el tramo cervical inferior, el punto más solicitado se localiza entre C5 y C6. Es en este nivel donde más frecuentemente se producen luxaciones anteriores de C5 y C6, con las **apófisis articulares inferiores de C5 enganchadas** en las apófisis articulares superiores de C6 (**Fig. 111**). En esta posición, la médula espinal está comprimida entre el arco posterior de C1 y el ángulo posterosuperior del cuerpo de C6. Dependiendo del nivel, la compresión medular provoca bien una paraplejía, bien una tetraplejía, que puede ser rápidamente mortal.

Es obvio que todas estas lesiones, que crean una gran inestabilidad en el raquis, pueden agravarse por manipulaciones inadecuadas durante el manejo y transporte de los heridos, y en particular, se puede entender que cualquier movimiento de flexión del raquis cervical y de flexión de la cabeza sobre el raquis cervical puede empeorar la compresión del bulbo raquídeo o de la médula espinal. Por lo tanto, al recoger un herido en accidente de circulación, por ejemplo, uno de los socorristas debe desempeñar como tarea técnica y primordial mantener la cabeza en el eje del raquis, así como extenderla ligeramente para evitar desplazamientos de una eventual fractura, ya sea en el tramo suboccipital o por debajo del mismo.

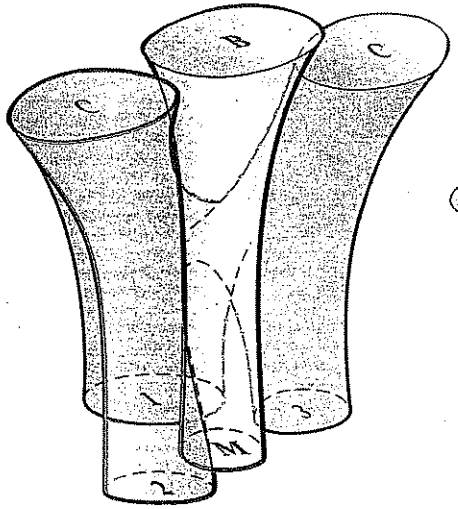


Fig. 109

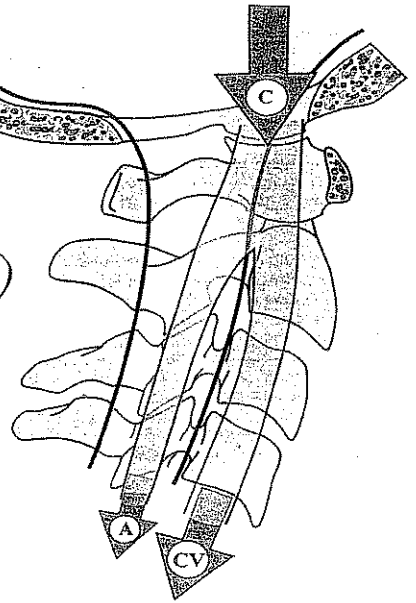


Fig. 110

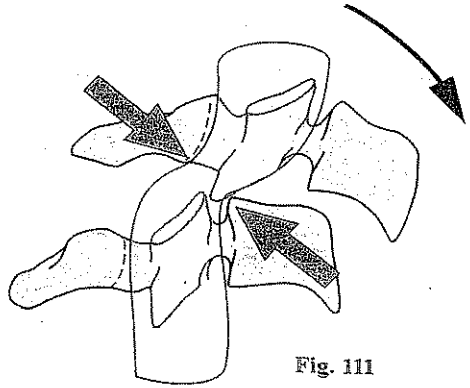


Fig. 111

La arteria vertebral y los vasos del cuello

En función de su estrecha relación con el raquis cervical, parece importante precisar las estrechas conexiones de la arteria vertebral con el raquis y, en general, sus conexiones con los vasos del cuello, que alimentan el cerebro y la cara.

Los vasos de la cabeza y del cuello se originan (**Fig. 114, visión de perfil**) en el cayado de la aorta:

- en el **lado derecho**, directamente por medio del tronco braquiocefálico 1, que va a dividirse en las arterias subclavia derecha 2 y carótida común derecha 3;
- en el **lado izquierdo**, por separado, por la arteria carótida primitiva izquierda, seguida de la arteria subclavia izquierda.

Es en la arteria subclavia donde se origina la arteria vertebral 4', que se dirige, por la fosa supraclavicular, hacia el foramen transversal de la sexta vértebra cervical. A continuación, recorre de abajo arriba 4 el canal formado por la **sucesión de forámenes de las apófisis transversas cervicales**, hasta el atlas (**Fig. 115, visión posterior derecha**). Una vez en el **atlas** (**Fig. 116**), por encima de su apófisis transversa, cambia totalmente de dirección y describe un cayado, que contornea por detrás la masa lateral del atlas, donde atraviesa una profunda corredera. De este modo, penetra en el canal vertebral, en contacto con la cara externa del tronco cerebral y del bulbo raquídeo, y, dirigiéndose hacia arriba, por delante y por dentro, conforma uniéndose con su simétrica el **tronco basilar**, importante arteria que, en la cara anterior del tronco cerebral, penetra por el foramen occipital en la fosa posterior del cráneo.

A lo largo de este trayecto, la arteria vertebral se ve expuesta a traumatismos:

- en primer lugar en el canal transverso, donde tiene que poder deslizarse libremente para adaptarse a las variaciones de curva y de dirección del raquis cervical. Todo pequeño desplazamiento de una vértebra en relación a sus vértebras vecinas puede dañarla;
- a continuación, junto con su homóloga, pasa por la apófisis odontoides de la que sólo la separa el ligamento transverso.

Obsérvese que la composición del tronco basilar, que posteriormente se dividirá en dos, es un ejemplo del principio de economía universal de Ockham, puesto que las dos arterias vertebrales también podrían haber atravesado por separado el foramen occipital.

Sin embargo (**Fig. 114**), la arteria carótida común 3 asciende por la cara anterior lateral del cuello y se divide en la arteria carótida externa 9, que a su vez se divide en la arteria temporal superficial 10 y la arteria maxilar interna 11, ambas arterias de la cara. Sin embargo, la arteria carótida interna 7 va a penetrar por la base del cráneo en la cavidad craneal, describiendo una curva denominada **bifurcación carotídea 8**, antes de dividirse en sus ramas terminales que irrigan el cerebro.

Es importante recordar que el tronco basilar se comunica con las arterias carótidas internas mediante un **sistema anastomótico**, el hexágono de Willis. Las arterias vertebrales garantizan por lo tanto **el riego arterial** de la fosa posterior del cráneo, es decir del cerebelo y del tronco cerebral, y participan también en la **vascularización** del cerebro anterior, garantizando así la irrigación en caso de un fallo del riego carotídeo.

Habiéndose aclarado así el papel esencial de las arterias vertebrales, puede entenderse la importancia de salvaguardarlas en cualquier acto que se lleve a cabo sobre el raquis cervical. Se han descrito lesiones de la arteria vertebral en el transcurso de manipulaciones un tanto vigorosas del raquis cervical...

1. Guillermo de Ockham: franciscano, teólogo escolástico, filósofo inglés llamado el "doctor invencible". Nació en Ockham, Surrey, hacia 1290, excomulgado en 1330 y fallecido por peste en Munich en 1349.
Enunció el principio de parcimonia (o parsimonia), o principio de economía universal: "la verdad de una teoría debe basarse en el mínimo de preceptos, de razones y de demostraciones".
Este principio se conoce también como "el rasero de Ockham", que elimina todos los preceptos inútiles de las demostraciones en un razonamiento lógico.
Es en está línea se sitúa también el pensamiento de Copérnico quien, habiendo hallado que para explicar el movimiento retrógrado de los planetas interiores el sistema de Ptolemeo (o sistema de Tolomeo) era demasiado complicado, resolvió el problema con el sistema heliocéntrico. Fue, como Einstein, sensible a la belleza de la demostración...

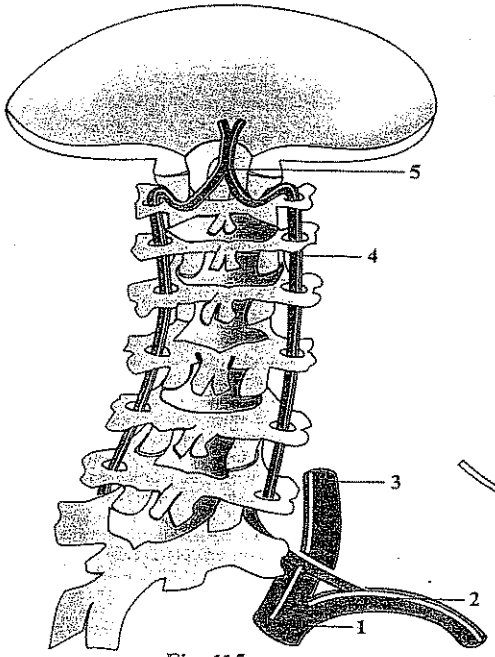


Fig. 115

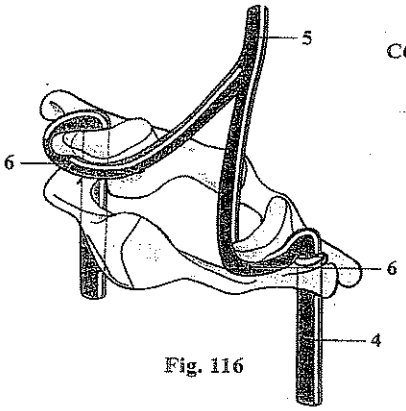


Fig. 116

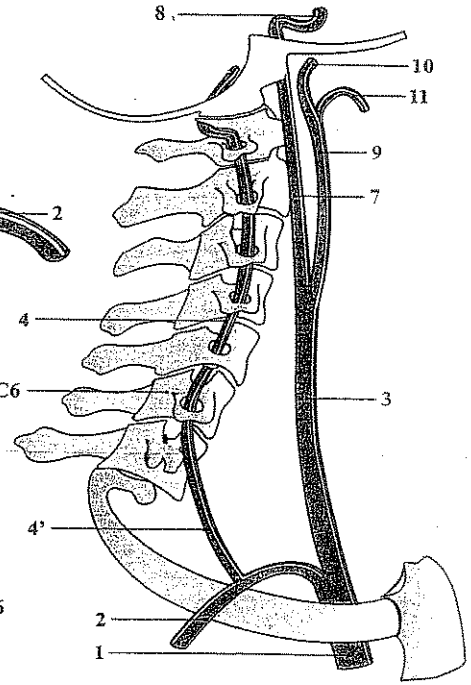


Fig. 114

Nexos entre las raíces cervicales y el raquis

Tras haber analizado los nexos entre el raquis cervical y el bulbo raquídeo y la médula espinal, va a abordarse su relación con las raíces nerviosas.

De cada tramo del raquis cervical salen las **raíces de los nervios cervicales** por los **agujeros de conjunción**. Estas raíces pueden resultar afectadas por **procesos patológicos (Fig. 112)**: las hernias discales son raras en el raquis cervical; su salida posterolateral (**flecha 1**) se ve dificultada por la presencia de las apófisis unciformes de tal modo que, cuando existen, están mucho más próximas a la línea media (**flecha 2**) que en la región lumbar, por lo que más bien acarrean **compresiones medulares**.

Resulta conveniente recalcar la presencia de la arteria vertebral en su canal situado en el seno de la apófisis transversa.

Sin embargo, el proceso de compresión más frecuente en el raquis cervical se debe a la **artrosis** de las articulaciones uncovertebrales (**flecha 3**).

De hecho, una **visión de perfil (Fig. 113)** muestra los estrechos nexos de las raíces cervicales saliendo de los agujeros de conjunción con las **articulaciones cigapofisarias** por detrás, y con las **articulaciones uncovertebrales** por delante **(parte superior de la figura)**. Cuando se inicia el proceso de la cervicoartrosis **(parte inferior de la figura)**, se pueden apreciar no sólo los picos osteofíticos en la parte anterior de las mesetas vertebrales **1**, sino, sobre todo, en las proyecciones radiológicas oblicuas, las vegetaciones osteofíticas que parten de las articulaciones uncovertebrales **2** y forman una prominencia en el área del agujero de conjunción. Asimismo, los osteofitos avanzan por atrás a partir de la articulación cigapofisaria **3** y la raíz cervical puede así verse comprimida entre los osteofitos anteriores de punto de partida uncovertebral y los osteofitos posteriores de punto de partida articular. Así puede explicarse la **sintomatología radicular de las cervicoartrosis**.

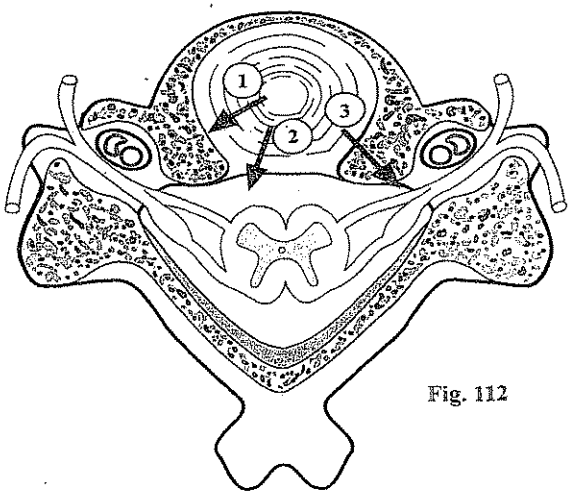


Fig. 112

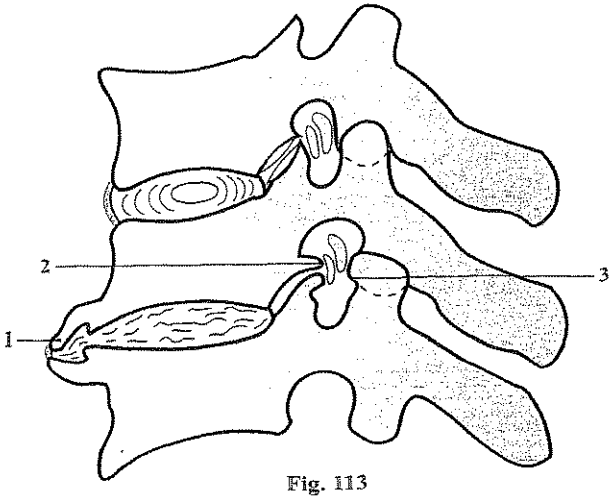


Fig. 113

La importancia del pedículo vertebral: su papel en la fisiología y la patología raquídeas

En todos los niveles del raquis, el **pedículo vertebral** desempeña un papel mecánico esencial garantizando la **unión entre la columna de los cuerpos vertebrales**, que soporta los esfuerzos estáticos, y el **arco posterior**, que juega un papel dinámico puesto que es el lugar donde se insertan los músculos, así como un papel protector del eje nervioso.

El pedículo vertebral es una **estructura tubular**, compuesta por una capa cortical sólida que envuelve una cavidad medular repleta de hueso esponjoso. Este cilindro es relativamente corto y su orientación es variable dependiendo de los niveles del raquis, pero presenta características constantes.

Es perfectamente visible en las radiografías oblícuas (**Fig. 117**): es el ojo del pequeño perro (**cruz**). Pero un examen atento, permite observarlo en **toda la extensión del raquis (Fig. 118)**: cada vértebra "posee dos ojos" y es necesario saber "mirar las vértebras a los ojos", de ahí la ingeniosa idea que tuvo Roy-Camille (1970) al insertar un tornillo en el eje de este pedículo, bien para solidarizar el arco posterior con el cuerpo vertebral, bien para disponer de un apoyo sólido sobre una o varias vértebras (**Fig. 119**). Antes de la intervención, puede apreciarse, mediante radiografías, una especie de divergencia pedicular, e insertar, en la mayoría de las ocasiones, el tornillo "recto por delante" en el plano sagital (**Fig. 120**).

No se recomienda esta técnica para aquellos que se inician en la cirugía raquídea ya que es necesario tomar referencias muy precisas para seleccionar el punto de penetración. A continuación, la dirección en el plano vertical recto, también queda determinada según el nivel raquídeo. La dirección es horizontal **en la zona lumbar (Fig. 121)** y en ocasiones ligeramente oblicua hacia dentro (**Fig. 122**). Hasta ahora, era la habilidad y la experiencia del cirujano lo que garantizaba una buena dirección, ya que hay que tener en cuenta la proximidad de la raíz del nervio raquídeo que sale por los forámenes de conjunción sub y suprayacente (**Fig. 122**). Actualmente, gracias a la **ayuda informática**, el abordaje es bastante más preciso y permite insertar tornillos pediculares con mayor seguridad. Posiblemente gracias a esta ayuda informática sea posible insertar en otros niveles, especialmente en la zona cervical (**Figs. 123, 124 y 125**), donde el pedículo es más fino y las direcciones distintas, pero, de momento, esto sólo es posible en los niveles C2 y C7.

La introducción del tornillo pedicular representa un **progreso muy importante en la cirugía raquídea**, para fijar fracturas, colocar placas, o apoyarse sobre una o varias vértebras por la razón que sea. Esta **idea innovadora** deriva principalmente de un **perfecto conocimiento de la anatomía**.

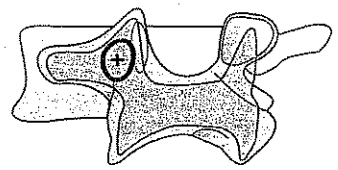


Fig. 117

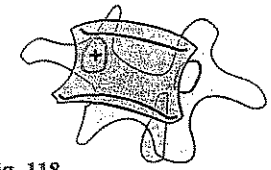


Fig. 118

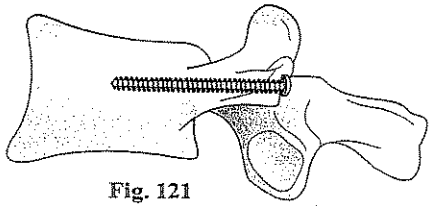


Fig. 121

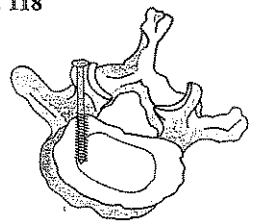


Fig. 119

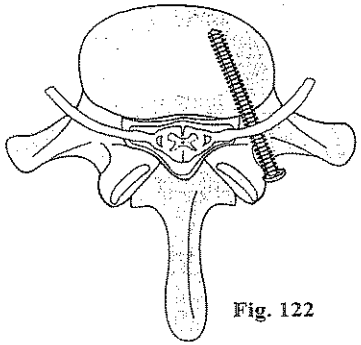


Fig. 122

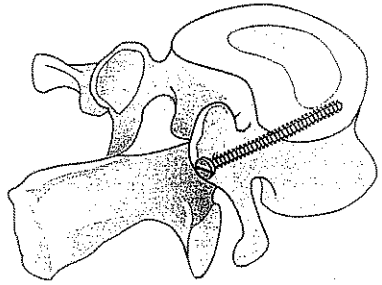


Fig. 120

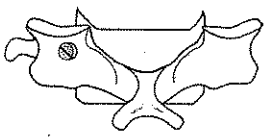


Fig. 123

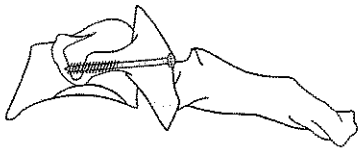


Fig. 124

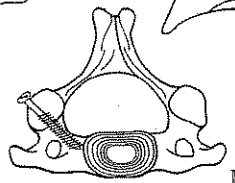


Fig. 125

Capítulo 6

LA CABEZA

La cabeza corona el **edificio raquídeo** y contiene lo más precioso de la personalidad del ser humano, el cerebro, el **ordenador central**, protegido por una caja ósea sólida, la **caja craneal**. Esta está directamente unida al raquis, que contiene la **médula espinal**, haz de transmisión de las informaciones y de las órdenes al conjunto del cuerpo. De forma ovoide, esta caja está constituida por placas óseas articuladas las unas con las otras mediante **suturas óseas que carecen de movilidad**.

La cabeza soporta, integrados en el **macizo facial**, los principales **receptores sensoriales**, la vista y el oído, que informan al ser humano sobre su entorno. La proximidad de estos receptores acortan el tiempo de transferencia de las informaciones al cerebro; es un ejemplo del principio de economía universal descubierto por Guillaume d' Ockham. Gracias a su movilidad, el **raquis cervical** permite la orientación de los **receptores sensoriales** y mejora su eficacia.

La cabeza contiene dos puertas de entrada para los alimentos y el aire:

la **boca** juiciosamente ubicada por debajo de la nariz, pudiendo controlar de este modo el olor de los alimentos antes de introducirlos. Aunque un segundo control es el efectuado por **el gusto** que, precisando la naturaleza química, puede bien intuitivamente, bien gracias a la experiencia adquirida por la especie, rechazar la ingestión de sustancias nefastas o tóxicas;

la **función de la nariz** es la de controlar, filtrar y calentar el aire que se inspira. La vía aérea cruza la vía digestiva a la altura de la faringe y de la laringe. Esta última, mediante un mecanismo de extrema precisión, desempeña el papel de **válvula de protección** impidiendo que elementos sólidos o líquidos puedan introducirse en las vías aéreas.

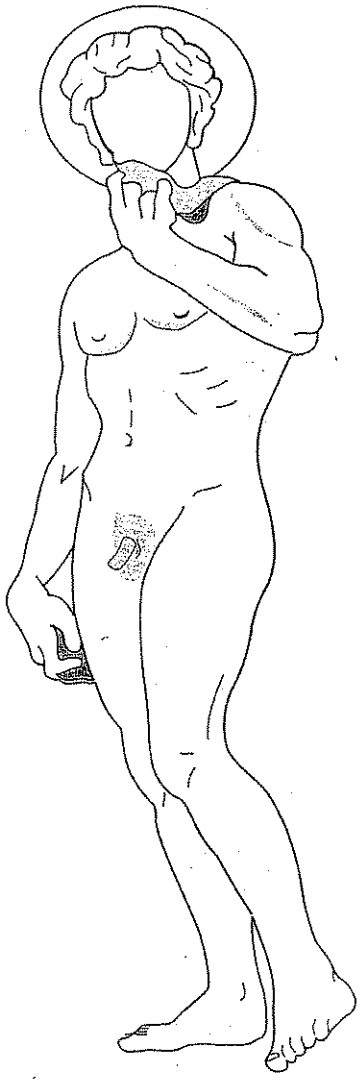
Pero la **laringe**, cuya fisiología ha sido analizada con anterioridad (*véase* la pág. 182), desempeña también un papel esencial en la especie humana modulando los sonidos, posteriormente articulados por la boca y la lengua, desencadenando así la **fonación**. De este modo, el hombre dispone de un sistema de comunicación sonoro, el **lenguaje**, que le permite comunicarse con sus semejantes y transmitir informaciones y sentimientos. Esta transmisión oral se prolonga con la transmisión escrita.

La cabeza también contiene **músculos y articulaciones**, pero de un tipo muy específico.... Estos músculos, antiguamente denominados **músculos cutáneos de la cara**, estudiados y analizados por Duchenne de Boulogne, no movilizan ningún elemento esquelético. Gracias a la expresión facial, son el instrumento de un **segundo sistema de comunicación** casi internacional, que completa el lenguaje oral. Los músculos cutáneos, denominados también **orbiculares**, controlan los orificios de la cara: el músculo orbicular de los labios cierra la boca, el músculo orbicular de los párpados cierra los ojos. Sin embargo, existe sólo un músculo dilatador de la nariña.

En cuanto al conducto auditivo externo, permanece abierto, viéndose ayudado en la recolecta de sonidos por el pabellón auditivo, que, en el hombre, ha perdido su capacidad de orientación, claramente existente en los animales.

También existen huesos cuyo papel es el de trasmitir las vibraciones entre el tímpano y el oído interno, la **cadena de los tres huesecillos del oído interno**. Además, **dos articulaciones sinoviales**, las articulaciones **temporomandibulares**, permiten los movimientos del hueso maxilar inferior, indispensables para la alimentación y la formación. Obsérvese finalmente la presencia de dos articulaciones sin hueso: **las articulaciones de los globos oculares en sus órbitas** que condicionan la orientación de la mirada.

En las próximas páginas (*véase* la pág. 292), se abordarán las articulaciones temporomandibulares y la movilidad de los globos oculares (*véase* la pág. 304).



El cráneo

El esqueleto del cráneo (**Fig. 1**) está compuesto por 22 huesos planos, derivados de los núcleos óseos de las doce primeras metámeras embrionarias, pero profundamente transformadas debido a la especificidad de su función: conformar la caja craneal y el macizo facial.

La **caja craneal** está formada por placas óseas que contienen un tejido esponjoso central recubierto de dos capas corticales muy sólidas, una externa-epicraneal, y otra interna, endocraneal. En la base del cráneo, estas placas se fusionan como partes más masivas, constituyendo así la unión con el macizo facial y el raquis cervical.

La **caja craneal**, de forma ovoide, está compuesta por 6 placas:

- el **hueso occipital** 1, por detrás, con su amplia concha conformando el occipucio, está próximo a la apófisis basilar, agujereada por el amplio agujero occipital, por el que el eje nervioso, en este caso el bulbo raquídeo y la médula espinal, salen del cráneo para ocupar el canal vertebral. A un lado y otro del agujero occipital se localizan los dos cóndilos de la apófisis occipital, que se articulan con el raquis cervical, en el atlas;
- los **huesos parietales** 2, placas pares y simétricas, conforman la parte superolateral del cráneo, y se articulan por detrás con el hueso occipital;
- el **hueso frontal** 3, amplia concha impar y media, conforma la frente y está articulada por detrás con los dos huesos parietales. Por delante, el hueso frontal presenta las cavidades orbitarias, prolongadas por detrás por la parte superior de la órbita.

Estos cuatro huesos forman la bóveda craneal.

La base del cráneo está constituida, de delante atrás por:

- el hueso **etmoides** 4, impar y medio, que se localiza por detrás de la parte central de hueso frontal, y que constituye la mayor parte de las fosas nasales. Su parte superior presenta la **lámina cribosa** cuyos agujeros dejan pasar los "cables" sensoriales de los dos **bulbos olfatorios**, órganos del olfato. El cuerpo del hueso etmoides está compuesto por numerosas células, cavidades que aligeran la estructura, y en el plano sagital la lámina perpendicular que separa las dos fosas nasales, ocupadas por las conchas nasales superiores y medias;
- el hueso **esfenoides** 5, impar y medio, que forma con su cuerpo la unión entre el hueso etmoides y el hueso occipital. Es el hueso más complicado de la base del cráneo: podría compararse a un avión biplano, cuyo fuselaje está constituido por el cuerpo. La parte superior del cuerpo, el sitio del piloto está representado por **la silla turca**. Las **dos alas menores**, las superiores, se articulan con el hueso frontal. Las **dos alas mayores**, las inferiores, constituyen el suelo de la fosa temporal. Las dos alas superior e inferior están separadas por la **fisura orbitaria superior**, localizada en el fondo de la órbita. Las apófisis pterigoides representan a cada lado el tren de aterrizaje del biplano;
- el **hueso temporal** 6, a cada lado, que completa con su porción escamosa la caja craneal y por la porción petrosa, la base del cráneo;
- el **hueso palatino** 7, a cada lado, que se articula con la apófisis pterigoides del hueso esfenoides. Completa la formación de las fosas nasales y del paladar;
- el **hueso cigomático** 8, a cada lado, que completa la órbita y forma el esqueleto del pómulo;
- los dos **huesos propios de la nariz** 9, que forman simétricamente el tabique nasal óseo;
- el **hueso maxilar 10** que forma el suelo, a cada lado, la casi totalidad del macizo facial. Está prácticamente vacío, ya que está ocupado por el seno maxilar. Conforma el suelo de la órbita, y presenta en su parte inferior los arcos alveolares superiores y la apófisis palatina, que constituye la casi totalidad del paladar;
- la **mandíbula 11**, hueso impar y medio, en forma de herradura de caballo, con dos ramas ascendentes que sujetan los **cóndilos**, superficies móviles de la **articulación temporomandibular**. Presenta **los arcos dentales inferiores**, que se corresponden con los superiores.

Para acabarlo de completar, todavía es necesario citar pequeños huesos como el **vómer**, el **hueso lagrimal** y la **concha nasal inferior** que no participan en la estructura y no están representados en la figura.

La descripción detallada de estos huesos al igual que sus conexiones puede hallarse en libros de anatomía descriptiva.

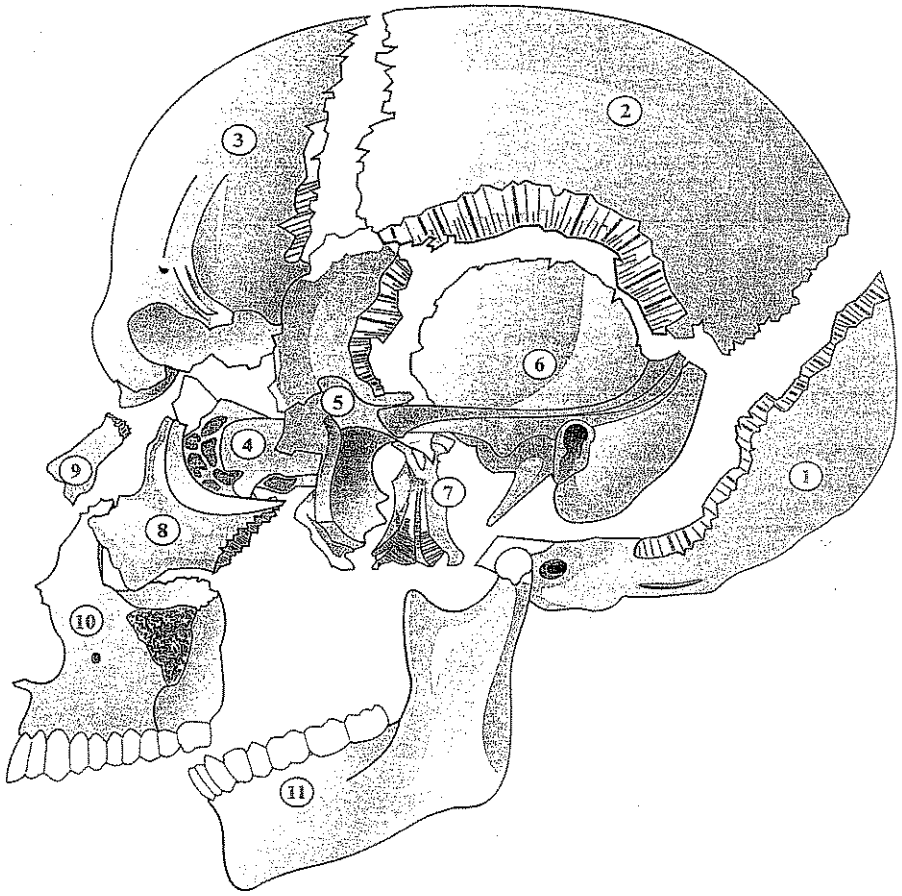


Fig. 1

(Inspirado de Andras Szunyoghi)

Las suturas craneales

Excepto el hueso maxilar y la mandíbula, los huesos del cráneo se articulan entre ellos mediante **suturas**. En el embrión e incluso en el recién nacido, los huesos del cráneo permanecen **relativamente móviles entre ellos** ya que no están soldados, como indica la persistencia de la gran fontanela anterior o bregma que no se osifica totalmente más que entre los 8 y los 18 meses. La movilidad de los huesos del cráneo en el niño se explica por el aumento rápido de volumen del cerebro, que continúa tras el nacimiento. A continuación, el crecimiento óseo puede acompañar al del cerebro hasta la adolescencia, período en el cual el cráneo adquiere su desarrollo definitivo.

La **suturas óseas**, que articulan entre ellas las placas óseas (Fig. 2), adquieren un dibujo extremadamente sinuoso que, cuando están **encajadas** (Fig. 3), impide cualquier movimiento en el **plano de la placa**. La comparación con un puzzle (Fig. 4) muestra claramente esta solidez entre las piezas del **puzzle** (Fig. 5), con la condición de que permanezcan en el plano, es decir encima de la mesa. Es este razonamiento el que hizo que los anatomistas clásicos afirmarán que las suturas **carecen de cualquier tipo de movilidad**.

Actualmente, este dogma, se ve cuestionado por algunos especialistas que intentan explicar toda una patología por los movimientos en estas suturas. Pero, reflexionando, los movimientos entre las piezas del puzzle son posibles con la única condición de que se lleven a cabo fuera del plano (Fig. 6). En un corte (Fig. 7), es evidente: un deslizamiento perpendicular es posible.

Si se observa la figura 1 (*véase* pág. 279), puede constatarse que la mayoría de esta suturas son, **no perpendiculares al plano, sino oblicuas**, y ¡todas con la misma oblicuidad...! En este sentido, no es pues imposible que las placas se deslicen oblicuamente una con respecto a la otra (Fig. 8) en un movimiento de subducción que recuerda la **tectónica de placas** (Fig. 9), puesta al día por Weneger para explicar los temblores de tierra...

La observación de la figura 1 permite también suponer que gracias a la oblicuidad de las suturas, la porción escamosa de los dos huesos temporales podría deslizarse lateralmente, en una especie de dilatación en relación a la porción escamosa. Todavía es necesario probar esta tectónica de la porción escamosa en el cráneo mediante un experimento que consiste en efectuar una compresión progresiva fronto-occipital (¡sin llegar hasta la tortura inquisitorial evidentemente!) tomando cortes tomo-densitométricos frontales en reposo y bajo compresión. A continuación quedaría por explicar la fisiopatología que podría derivarse de esto....

Un argumento de simple lógica habla a favor de micromovimientos en estas suturas, puesto que si no existiesen, habrían acabado por desaparecer a lo largo de la evolución.

El cráneo de los homínidos, y especialmente el de los monos superiores y sobre todo el del hombre, presenta una característica derivada del paso a la verticalidad. En el animal, el **perro** por ejemplo (**Fig. 10**; la caja craneal en trazo azul y el macizo facial en trazo rojo), la cuadrupedia conlleva la casi horizontalidad del raquis cervical, de ahí la posición inferoposterior del agujero occipital. Sin embargo, la **bipedestación** (Fig. 11) ha determinado, a lo largo de la evolución, una migración anteroinferior del agujero occipital en el hombre, por debajo de la caja craneal.

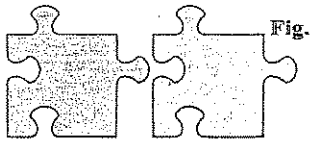


Fig. 4

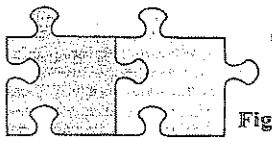


Fig. 5

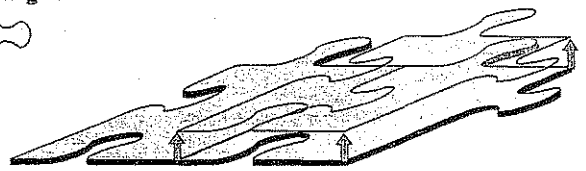


Fig. 6

Fig. 2

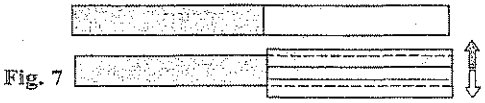


Fig. 7

Fig. 3

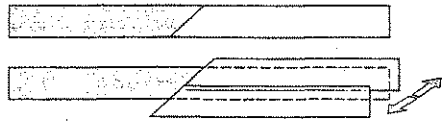


Fig. 8

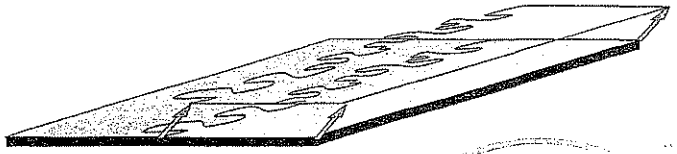


Fig. 9

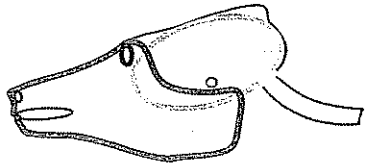


Fig. 10

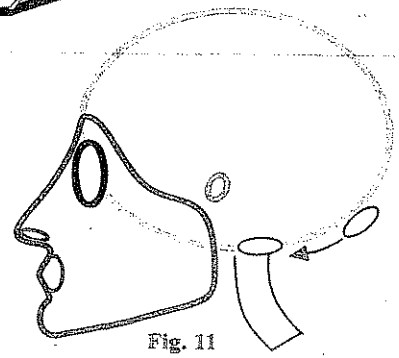


Fig. 11

El cráneo y el macizo facial

La estructura del cráneo agrupa en un mismo conjunto (Figs. 12 y 13) **el cerebro, ordenador central**, soporte de la personalidad del ser humano, de su individualidad, incluido en la **caja craneal (línea azul)**, y el **macizo facial (línea roja)**, que sujeta los principales **receptores sensoriales**, la vista, el oído, el gusto, el olfato y la audición, que informan al hombre sobre su entorno. La proximidad de estos receptores al cerebro, que va tratar la información recibida, acorta su tiempo de transferencia; es un ejemplo del principio de economía universal descrito por Guillaume d´Ockham, que anuncia que la eficacia máxima debe conseguirse con el mínimo de estructuras.

La movilidad de la cabeza, posible gracias al **raquis cervical**, permite la **orientación de los receptores sensoriales** y mejora su eficacia, así como su **situación elevada**, propia de la **bipedestación**. En la caja craneal, el cerebelo es un elemento esencial en la coordinación y en el ajuste de las órdenes que llegan del cerebro. El cerebro toma decisiones, el **cerebelo** las hace ejecutables.

La cabeza tiene **dos puertas de entrada (Fig. 14)**: la boca para los alimentos y la nariz para el aire.

La **boca** está muy juiciosamente ubicada **por debajo de la nariz**, que de este modo puede llevar a cabo un primer control mediante el **olor de los alimentos** antes de introducirlos en la boca. El segundo control lo efectúa el **gusto** que, dependiendo de la naturaleza química, puede bien intuitivamente, bien gracias a la experiencia adquirida por la especie, rechazar la ingestión de sustancias dañinas o tóxicas.

Gracias a la **masticación** posible por la **actividad mandibular**, la boca también es una **trituradora-machacadora** que va a fragmentar los alimentos y salivarlos para que, de este modo, sean más asimilables.

El **papel de la nariz** es el de controlar, filtrar y calentar el aire que inspira el ser humano: su función de filtro es indispensable. Debido a la disposición de las entradas y a la posición anterior de los pulmones así como a la posición posterior del tubo digestivo, la **vía aérea atraviesa la vía digestiva a la altura de la faringe y de la laringe**. Esta última, mediante el mecanismo de cierre de la **glotis** y de la **epiglotis**, desempeña el papel de **válvula de protección**, impidiendo que cualquier mínima cantidad de sólido o de líquido pueda introducirse en las vías aéreas. Pero la **laringe**, cuya fisiología se ha abordado con anterioridad, desempeña también un papel esencial de **fonación** en la especie humana, por modulación de los sonidos, articulados a continuación por la boca y la lengua. De este modo, el hombre dispone de un sistema de comunicación sonoro, el **lenguaje**, que le permite comunicarse con sus semejantes, y expresarle experiencias, órdenes y sentimientos.

Por lo tanto, la cabeza representa un notable y maravilloso ejemplo de integración funcional. También contiene **articulaciones**, las articulaciones **temporo-mandibulares** y también **músculos** de un tipo muy especial.... Los músculos de la **expresión facial**, que son el instrumento de un **segundo sistema de comunicación** casi internacional, que completa al lenguaje oral.

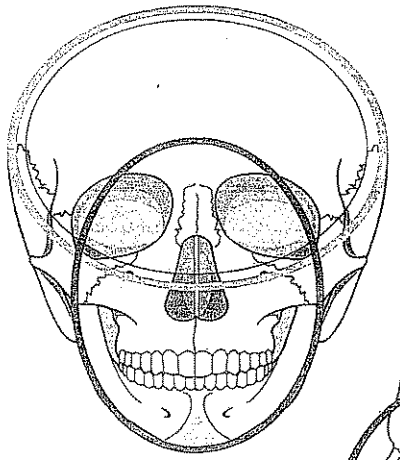


Fig.12

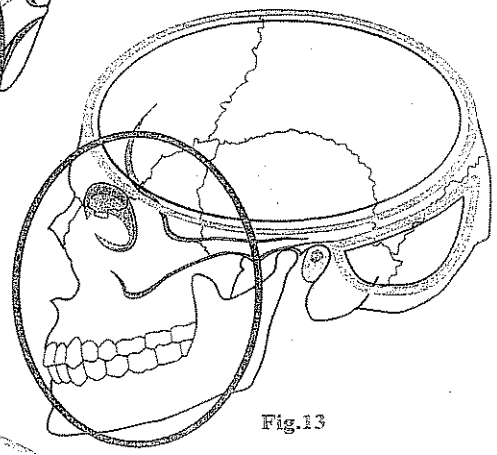


Fig.13

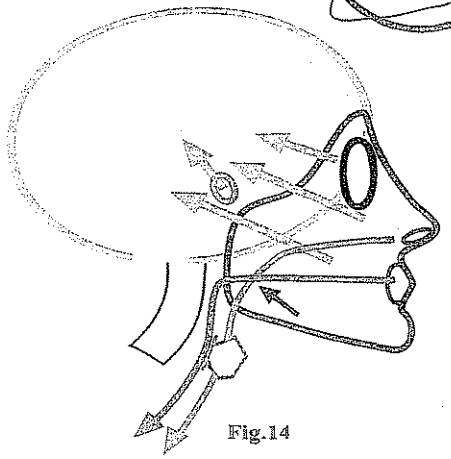


Fig.14

El campo visual y la localización de los sonidos

La cabeza está situada en la cima del raquis cervical, lo que le permite una **rotación aproximada de 180°**. Es una gran ventaja para la eficacia de la visión y de la audición. Esta rotación permite orientar la cabeza, y por lo tanto los receptores sensoriales, en la dirección de la fuente, sin necesidad de mover el cuerpo, lo que no es el caso de los animales sin cuello, como los peces.

Campo visual

El **campo visual** (**Fig. 15**) en posición media A se extiende aproximadamente unos 160° a. El campo visual de cada uno de los ojos se superpone por delante de la cabeza, creando un **sector de visión estereoscópico** en el que pueden trabajar las manos. Si la cabeza gira **L**, bien hacia la derecha **d**, bien hacia de izquierda **i**, el **campo visual total** T aumentaría considerablemente, alcanzando **270°**, de modo que sólo resta un **ángulo muerto posterior** P de 90°. Para poder mirar en el interior de este ángulo muerto, es necesario girar el tronco. Algunos animales, con el cuello muy largo, como las jirafas, pueden vigilar 360° de campo visual, gracias a la simple rotación de su cuello...

Localización de los sonidos

La localización de las fuentes sonoras (**Figs. 16** y 17) es posible gracias a la localización lateral de las orejas, separadas por el volumen del cráneo. Una fuente sonora localizada **por fuera del plano de simetría** (**Fig. 16**) no es percibida de la misma forma por cada una de las orejas:

- la oreja del lado opuesto a la fuente percibe un sonido ligeramente disminuido por la presencia de la cara que constituye un obstáculo que hay que superar;
- esta misma oreja percibe un sonido desfasado en relación al otro. De hecho, el camino recorrido por la onda sonora es ligeramente más largo, lo que introduce una diferencia de fase d.

Girando instintivamente la cabeza hacia el lado donde el sonido es más fuerte (**Fig. 17**), la intensidad de la recepción se iguala y el desfase desaparece. En este instante, la fuente sonora S se sitúa exactamente en el plano de simetría de la cabeza, y los ojos pueden apreciar la distancia de la fuente por **telemetría** (*véase* pág. 308), si ésta fuese identificable.

Lo que es interesante en este proceso de localización de los sonidos, es **que funciona igual de bien por detrás de la cabeza que por delante**... ¡Gran ventaja para poder localizar una amenaza por sorpresa...!

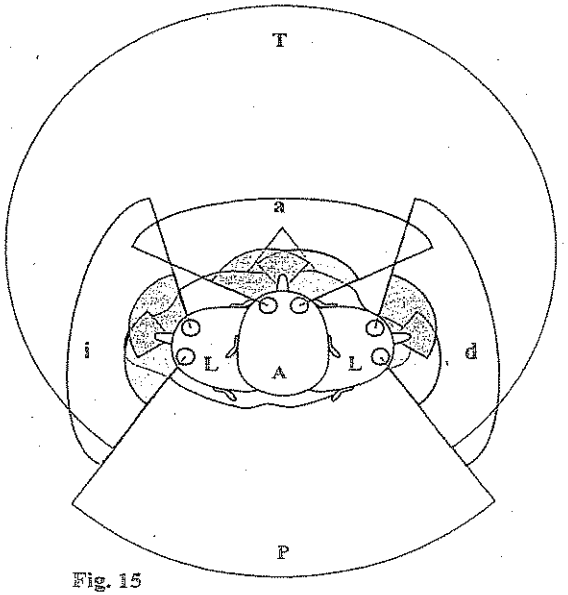


Fig. 15

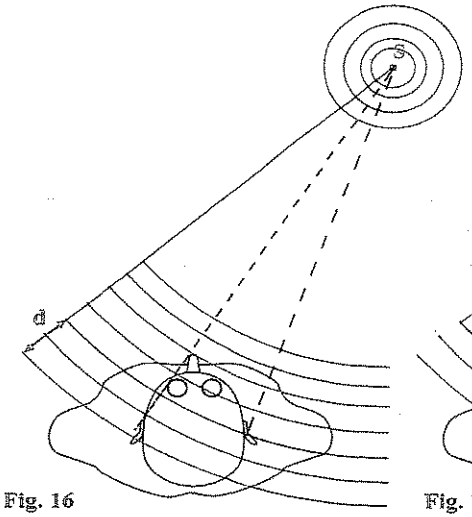


Fig. 16

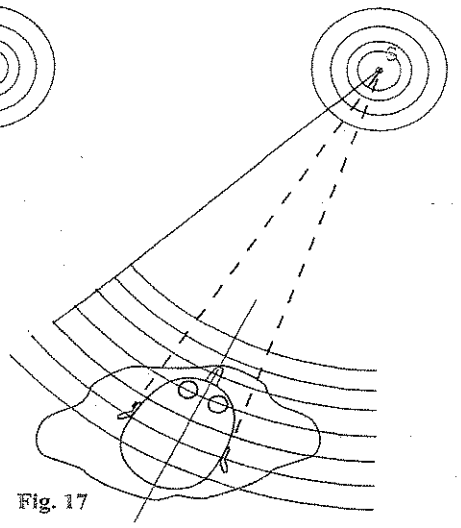


Fig. 17

Los músculos de la cara

Los músculos de la cara son muy particulares ya que, al contrario que otros músculos del aparato locomotor que unen huesos entre ellos, no mueven ningún hueso y sólo se insertan en un hueso de un único lado del cráneo, e incluso en el caso de algunos músculos, no se insertan en ningún hueso. De hecho, se insertan en la cara profunda de la dermis y mueven la piel, de ahí su antigua denominación de **músculos cutáneos**. La función de estos músculos fue estudiada específicamente por Duchenne de Boulogne.

Su **principal función** es la de **controlar los orificios de la cara** que pueden abrir y cerrar, especialmente los ojos y la boca, más accesoriamente las fosas nasales, y en absoluto los conductos auditivos externos.

Su **segunda función** es la de **modificar la expresión facial** para exteriorizar y **expresar los sentimientos**. En este sentido, actúan según un **lenguaje universal**, que entiende el mundo entero, y que refuerza el lenguaje de las palabras. Este lenguaje facial casi siempre se acompaña de un **lenguaje gestual**, expresado por las manos, este último también universal.

En detalle, los citados músculos pueden ser descritos alrededor de los orificios que controlan, los ojos, las fosas nasales y la boca (Figs. 18 y 19).

Alrededor de los ojos

- El **músculo orbicular del ojo**, con su parte orbital 2 y su parte palpebral 3. La contracción de este músculo esfínter (en forma de anillo) cierra los párpados. El cierre de los ojos es por lo tanto un **fenómeno activo**: incluso durante el sueño, el orbicular de los ojos conserva un tono suficiente como para mantener los ojos cerrados. Este tono desaparece con la muerte: se cierran los ojos de los muertos. En la vida corriente, el cierre rápido, automático e inconsciente de los párpados, el **guiño**, es muy importante para mantener la **humidificación del globo ocular** mediante las lágrimas.
- La apertura de los ojos también es un **fenómeno activo**, por contracción del **músculo elevador del párpado superior** está integrado en la órbita (*véase* Fig. 52, pág. 307).
- Entre los ojos, en la raíz de la nariz, se localizan dos músculos, el músculo **procero 4** y el músculo **corrugador de la ceja 5**, que permiten fruncir y aproximar las cejas.
- Por encima de las cejas, el músculo **frontal** 1 permite mover el cuero cabelludo hacia delante. Forma junto con el **músculo occipital** 1′ un músculo digástrico, cuyo tendón intermediario es la aponeurosis epicraneal que sirve de soporte al cuero cabelludo. El músculo occipital desplaza el cuero cabelludo hacia atrás.

Alrededor de las fosas nasales

Existen pequeños **músculos dilatadores** (sin representar), y sobre todo, al lado del músculo **nasal** 6, que frunce la nariz, puede hallarse el músculo **elevador del labio superior y del ala de la nariz** 7.

Alrededor de la boca

- El **músculo orbicular de la boca** 12 también es un esfínter que no tiene ninguna inserción ósea. Cierra el orificio bucal.

Todos los otros músculos abren la boca:

- unos elevan el labio superior, como el músculo **elevador del ángulo de la boca** 8: su contracción descubre el diente canino;
- o desplazan hacia arriba y hacia fuera, como los **músculos cigomáticos menor 9 y mayor** 10;
- o desplazan hacia fuera la comisura labial, como el músculo **buccinador** 17 y el músculo **risorio** 13, que se insertan sobre el músculo **masetero** 11 que es, como el músculo **temporal** 18, un músculo masticador. Afinan los labios, permitiendo su vibración en el embudo de una trompeta, que, en latín, se denominaría *buccin*, de ahí la denominación de buccinador;
- o desplazan la comisura de los labios hacia abajo, como el músculo **depresor del ángulo de la boca** 14, que es el músculo del desprecio;
- o desplazan hacia abajo el labio inferior, como el músculo **depresor del labio inferior** 15, que participa en el beso;
- finalmente, el pequeño músculo mentoniano que **asciende el mentón 16**, frunce la piel del mentón, primer signo de pena antes de llanto...

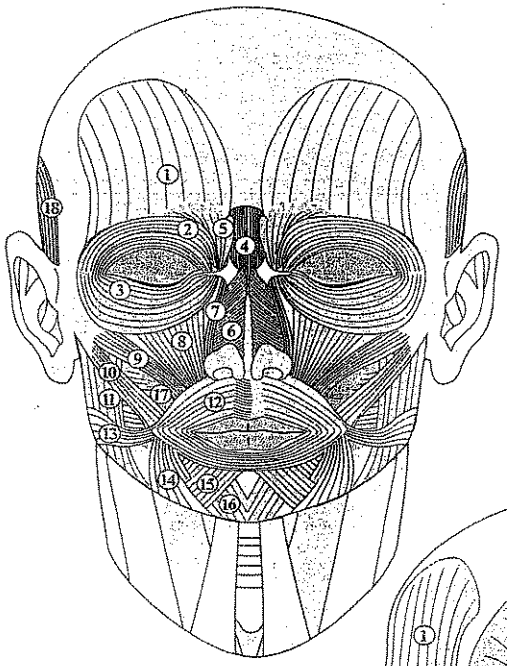


Fig. 18

Inspirado de d'Andràs Szunyoghi.

Fig. 19

Los movimientos de los labios

Los movimientos de los labios son determinantes para todos los gestos de la **alimentación**: abrir la boca, coger un alimento con los labios y a continuación cerrar la boca durante la masticación. Cuando cualquier individuo se prepara para beber, los labios se adelantan en dirección al vaso. Se trata de un gesto que los animales, excepto los monos, no pueden realizar; es por lo que los mamíferos superiores beben con la lengua, lamiendo. La boca también desempeña un gran papel en la **expresión facial**: la risa, la sonrisa, el desprecio, el odio, el disgusto, la duda, el rechazo. Todos estos sentimientos, y también muchos otros, se expresan en primer lugar por la forma de la boca.

La boca también interviene en las relaciones afectivas, como el **beso**, o durante el **canto**.

Redondeándose, la boca puede emitir sonidos, un silbido. El no poder silbar prueba la parálisis facial.

Estos movimientos dependen de los músculos:

- **cigomático mayor (Fig. 20)** que eleva y desplaza hacia arriba y hacia fuera las comisuras de la boca, realizando así una **sonrisa con la boca cerrada**;
- **buccinador (Fig. 21)**, en profundidad, y el músculo **risorio**, en superficie, desplazan con firmeza hacia fuera las comisuras de la boca, lo que, afinando los labios, les permite vibrar durante el soplido: esta es la forma en la que **se toca la trompeta**, el trombón, y la trompa.

La **sonrisa (Fig. 22)** es el resultado de la semiapertura de la boca, cuyas comisuras se desplazan hacia arriba y hacia fuera gracias a los músculos cigomático mayor y menor y el músculo risorio mientras que el labio inferior se desplaza hacia bajo por la acción del músculo **depresor del labio inferior** y del músculo **mentoniano**.

Finalmente, la contracción del **músculo depresor del ángulo de la boca (Fig. 23)** desciende las comisuras de la boca para expresar el **desprecio**.

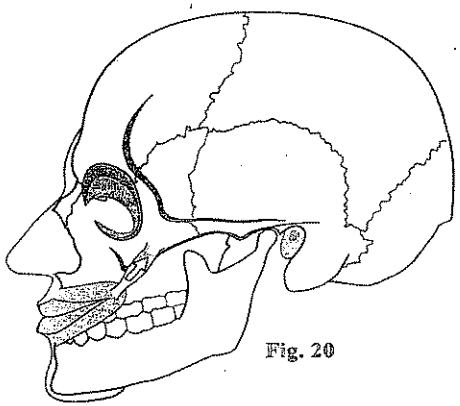


Fig. 20

Inspirado de J. P. Lamerand

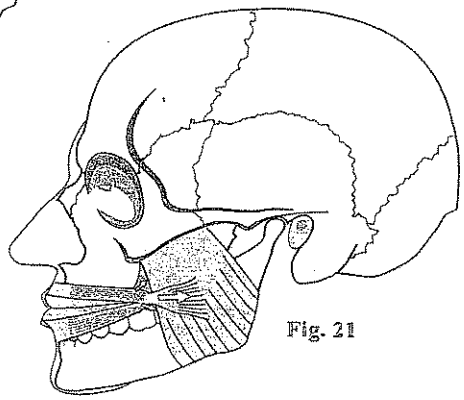


Fig. 21

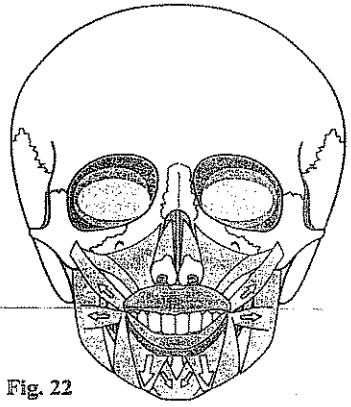
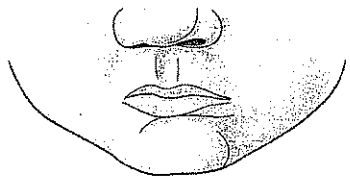


Fig. 22



Inspirado de J. P. Lamerand

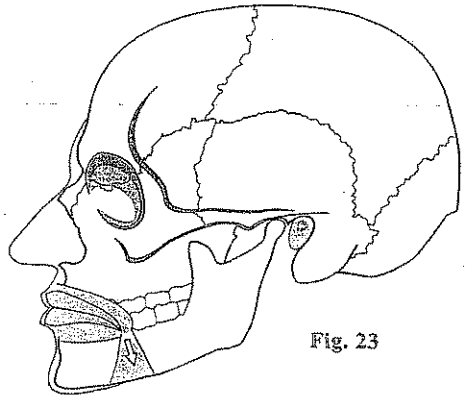
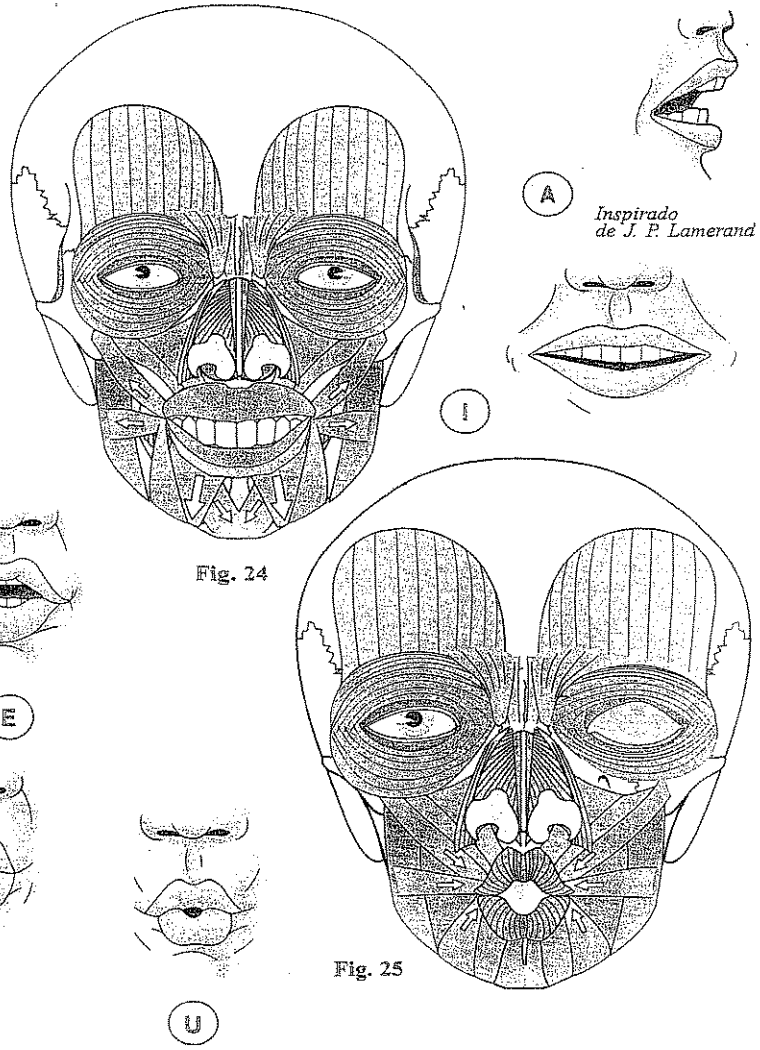


Fig. 23

Los movimientos de los labios (continuación)

La boca entreabierta, como para **sonreír** (Fig. 24), puede pronunciar la vocal **A** abriéndose ampliamente, y la vocal **I** permaneciendo apenas abierta. Pronunciando "istiti" en el momento de una foto, la boca está en posición de sonrisa...
Sin embargo, la contracción más marcada del **músculo orbicular de la boca** (Fig. 25) redondea y cierra la boca para permitirle pronunciar **O**, también **U**...

La posición **U**, es aquella en la que la boca está más cerrada, más redondeada, y los músculos que normalmente la abren y la engrandecen están distendidos.
En la figura 25, el ojo izquierdo está cerrado por contracción del músculo orbicular del ojo, y podría pensarse que el individuo está guiñando un ojo silbando...



Inspirado de J. P. Lamerand

Fig. 24

Fig. 25

Inspirado de J. P. Lamerand

Las expresiones

He aquí algunas expresiones, seleccionadas entre las más habituales, que van a permitir aplicar los conocimientos recién adquiridos. Para cada expresión, el lector puede entrenarse describiendo los distintos movimientos (respuesta facilitada debajo de cada expresión).

- **El disgusto** (Fig. 26)

[Alrededor de la boca: descenso de las comisuras por el músculo depresor del ángulo de la boca. Fruncido del mentón por el mentoniano.
Alrededor de los ojos: cierre parcial por el músculo orbicular del ojo.
Fruncido de las cejas por el músculo corrugador de la ceja.]

- **El llanto** (Fig. 27)

[Alrededor de la boca: descenso de las comisuras por el músculo depresor del ángulo de la boca.
Ligera contracción del músculo orbicular de la boca.
Fruncido del mentón por el músculo mentoniano, pero menos marcado que en el caso del disgusto.
Alrededor de los ojos: ninguna contracción del músculo orbicular del ojo.
Fruncido de las cejas por el músculo corrugador de la ceja.]

- **La fatiga** (Fig. 28)

[Alrededor de la boca: descenso de las comisuras por el músculo depresor del ángulo de la boca. Fruncido del mentón por el músculo mentoniano, pero menos marcado que del caso del disgusto.
Relajación del músculo orbicular de la boca.
Alrededor de los ojos: ninguna contracción del músculo orbicular del ojo, pero contracción del músculo frontal, que eleva las cejas.]

- **La risa** (Fig. 29)

[Alrededor de la boca: comisuras elevadas por los músculos cigomático y risorio. El labio inferior desplazado hacia delante por el músculo depresor del labio inferior. Relajación del músculo orbicular de la boca.
Alrededor de los ojos: contracción del músculo orbicular del ojo en su parte orbital y externa.
Ascenso del ala de la nariz por el músculo elevador del labio superior y del ala de la nariz.]

- **La furia** (Fig. 30)

[Alrededor de la boca: desplazamiento hacia delante de los labios por el músculo elevador del ángulo de la boca arriba, ascenso de la fosa nasal por su músculo elevador, el músculo depresor del labio inferior abajo.
En la nariz: contracción de los músculos nasal, procero, corrugador de la ceja.
Alrededor de los ojos: contracción del músculo orbicular en su parte orbital, ascenso del párpado superior por el músculo elevador del párpado superior.
Ascenso de las cejas por el músculo frontal.]

Fig. 26

Fig. 27

Fig. 28

Fig. 29

Fig. 30

Inspirado de J. P. Lamerand

Las articulaciones temporomandibulares

Las articulaciones temporomandibulares son articulaciones de las que se habla poco, pero que sin embargo tienen una **importancia vital**, ya que sin ellas no se puede comer. Permiten los movimientos de la mandíbula: el hueso maxilar inferior se articula con la base del cráneo **(Fig. 31)** por **dos articulaciones** de tipo condíleo **(flecha negra)**, localizadas justo por delante y por debajo del conducto auditivo externo A.

Estas articulaciones están **mecánicamente unidas** y no pueden por lo tanto funcionar la una sin la otra. Garantizan ambas la **función masticatoria**.

La **mandíbula**, cuyo cuerpo 1 tiene una forma curvada, que recuerda la herradura de un caballo aplastada transversalmente, contiene en su borde superior 2 el **arco alveolar inferior** 3. En su parte posterior, se prolonga arriba y atrás por dos **ramas ascendentes** 4, que terminan en un **cóndilo** 5, sujetado el mismo por una zona retraída, el **cuello** 6. Por delante del cóndilo, la rama ascendente finaliza en la **apófisis coronoide** 7, aplanada transversalmente.

Los movimientos de la mandíbula son **complejos**. A continuación se esquematizan mediante seis flechas:

- el más simple es el movimiento en **sentido vertical**, con:
  - un movimiento de **apertura** A', que permite introducir alimentos entre las arcadas dentales;
  - un movimiento de **cierre** C, que permite alcanzar los alimentos y sobre todo masticarlos;
- un movimiento de **lateralidad** L, hacia la derecha y hacia la izquierda, que permite deslizar la superficie de los molares inferiores sobre la superficie de los superiores, como si se tratase de una rueda de molino con el objetivo de aplastar y moler los alimentos;
- un **movimiento longitudinal**, en el sentido anteroposterior de **avance** A y de **retroceso** R, que puede combinarse con los movimientos de lateralidad, para realizar lo mejor posible el **movimiento de moler** circular entre los molares.

Todos estos movimientos no poseen ejes fijos: los movimientos de la mandíbula son el ejemplo mismo de los movimientos alrededor de los **ejes instantáneos evolutivos**, como suele ocurrir en biomecánica.

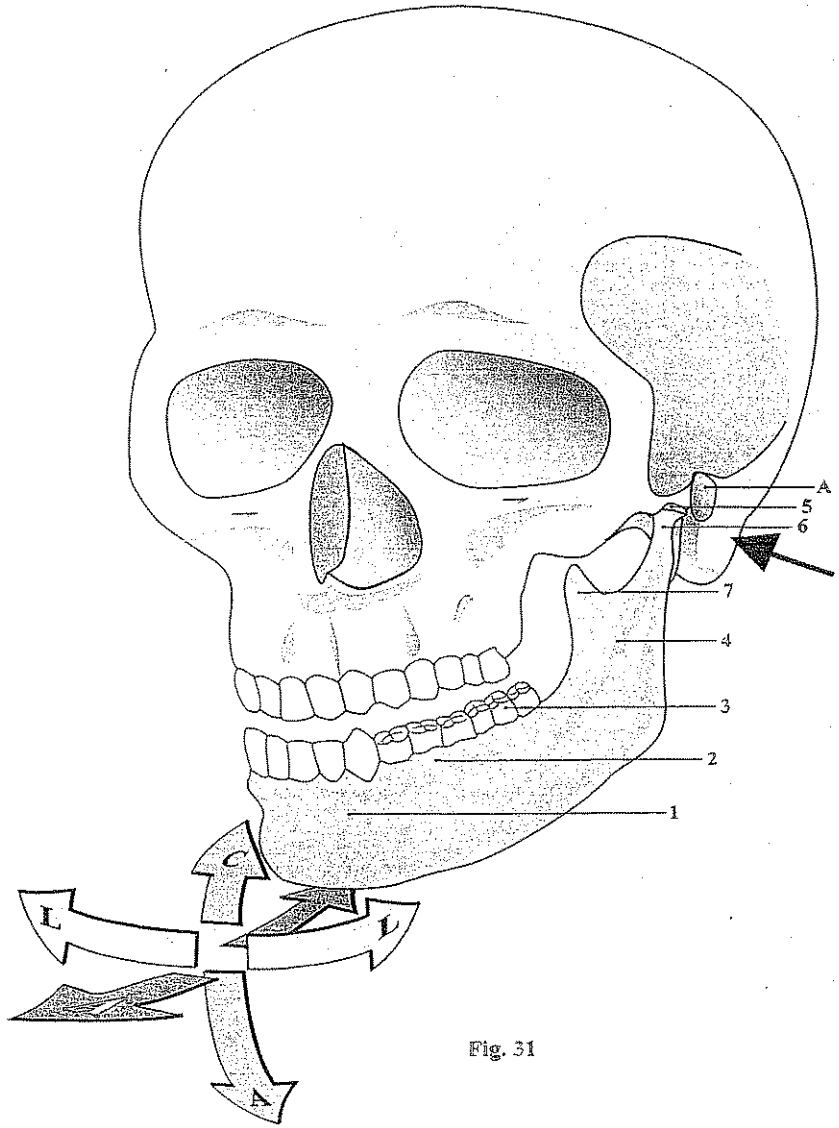


Fig. 31

La estructura de las articulaciones temporomandibulares

La **articulación temporomandibular** (Fig. 32) está constituida por dos superficies: una superficie superior, localizada en la cara inferior de la base del cráneo, y una superficie inferior, situada en la rama ascendente de la mandíbula.

- La superficie superior es una **cavidad glenoidea**, cóncava en los dos sentidos, pero sobre todo de adelante atrás, situada por debajo y por delante del **orificio del conducto auditivo externo** A, cuya pared inferior está constituida por la parte timpánica del **hueso temporal** 1. Esta cavidad se prolonga hacia delante sobre la **vertiente posterior** 2 de la raíz transversa de la **apófisis cigomática** 3, que tiene una forma convexa de atrás adelante y que constituye el **cóndilo del hueso temporal**. El fondo de esta cavidad glenoidea está atravesado transversalmente por la **cisura de Glasser** 4, que procura la unión entre la parte timpánica del hueso temporal por detrás y la apófisis cigomática por delante. La **vertiente anterior o preglaseriana** 2 de la cavidad glenoidea es **articular y está recubierta de cartílago**; su **vertiente posterior**, retroglaseriana, **no es articular**. Sin embargo, el cartílago de la vertiente preglaseriana se prolonga sobre la superficie condílea cigomática, que, **también es articular**. Esta superficie es pues, en el sentido longitudinal, **cóncava en su parte posterior y convexa en su parte anterior.**
- La **superficie inferior** es una superficie ovoide, extendida transversalmente y recubierta de cartílago, la **apófisis condílea**, sujeta por el cuello C. Éste está representado en sus dos posiciones: en posición de cierre C', en la que ocupa la **cavidad glenoidea**, y en posición de **apertura** A', en la que ocupa la cavidad en la que se apoyará sobre la parte más prominente del cóndilo temporal.
- Un **menisco articular** se interpone entre las dos superficies. Se trata de una formación fibrocartilaginosa, cuya forma es **bicóncava**, flexible y deformable, móvil en relación a las dos superficies, y que sigue los movimientos de la apófisis condílea, deslizándose en la cavidad glenoidea. Está representado en sus dos posiciones, en **gris**, la posición de cierre 5, y en **claro**, la posición de apertura 6. Esta sujeto por un **freno meniscal** 7, que se extiende desde la zona timpánica del hueso temporal hasta su borde posterior. Es la puesta en tensión 8 la que desplaza el menisco hacia atrás, en posición de cierre. El músculo **pterigoideo lateral** 9, que se inserta en el cuello de la apófisis condílea, está compuesto por una expansión 10 que se inserta en el borde anterior del menisco, desplazándolo hacia delante durante la apertura.
- La **cápsula articular**, en su parte anterior, se inserta en el menisco 11 y, en su parte posterior 12, une directamente la parte timpánica del hueso temporal al cuello de la apófisis condílea.

Una concepción simplista del funcionamiento de esta articulación podría hacer imaginar que la apófisis condílea convexa gira en la cavidad glenoidea del hueso temporal, en torno a un eje localizado en el centro de la curva de esta cavidad... la realidad es bastante diferente: durante la **apertura de la boca** (Fig. 33), la apófisis condílea avanza sobre la **vertiente posterior del cóndilo temporal, sin sobrepasar la cresta**: representado por la flecha negra en la figura.

En una visión lateral del movimiento de apertura (Fig. 34), este eje O, evolutivo en sí mismo, se localiza en algún sitio por debajo de la articulación, a la altura de la **espina de Spix**, visible en la cara interna de la rama ascendente.

Esta particular fisiología explica las dificultades para reducir la luxación temporomandibular, ya que en esta situación, la **apófisis condílea ha sobrepasado la cresta del cóndilo temporal**. No puede volver hacia atrás más que **si se desplaza hacia bajo enérgicamente la parte posterior de la mandíbula** empujando hacia bajo con los dos pulgares dentro del la boca del paciente, apoyándose en los molares inferiores más posteriores (flecha azul).

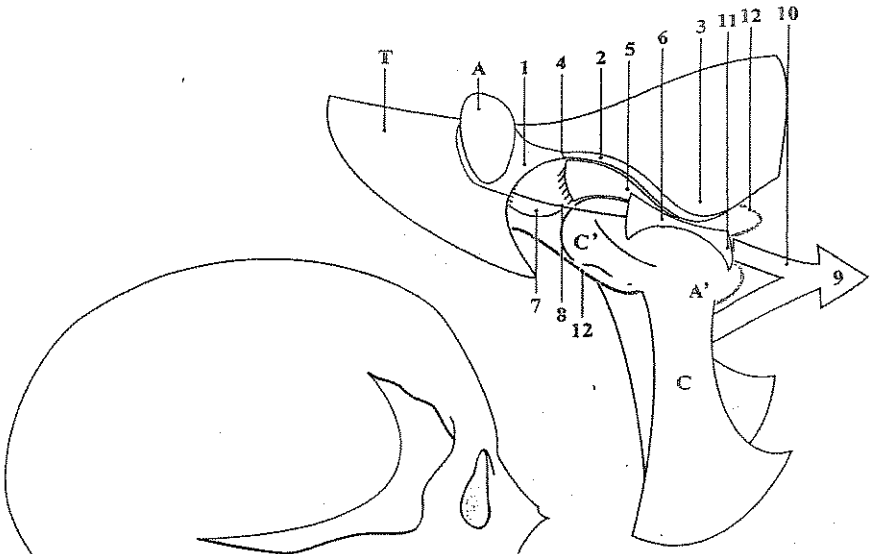


Fig. 32

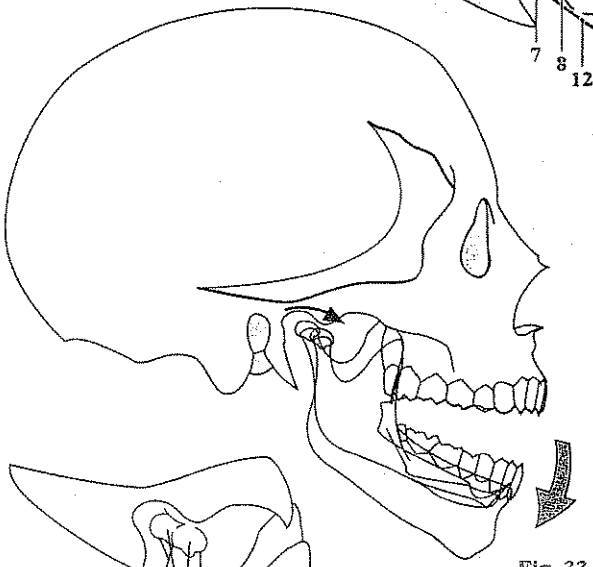


Fig. 33

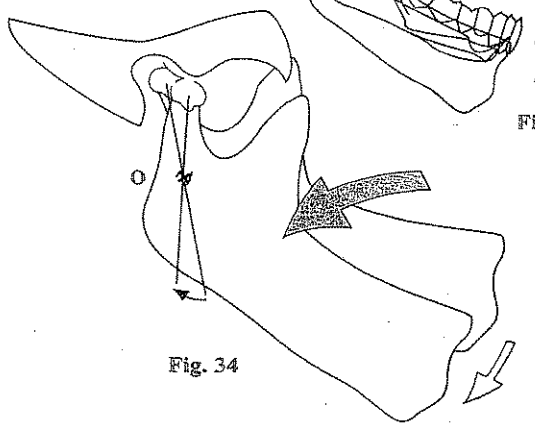


Fig. 34

Los movimientos de la articulación temporomandibular

En una articulación de movimientos tan complejos, los ejes no pueden definirse más que con el análisis de los desplazamientos elementales. Pueden describirse cinco tipos de movimientos en torno a distintos ejes (Fig. 35):

- un eje horizontal xx´, dedicado a los movimientos de apertura y de cierre (Fig. 36) entre los xx´e yy´, pero no es el cóndilo sólo el que se desplaza hacia delante: es toda la mandíbula;
- un plano de deslizamiento (aunque ya se ha analizado que en realidad, este eje se sitúa mucho más abajo, a la altura de la espina de Spix y es evolutivo), para los movimientos de protracción (avance) y de retracción (retroceso) de la mandíbula (Fig. 37);
- un eje de deslizamiento lateral a lo largo del eje, pero una vez más, es toda la mandíbula a la que se desliza lateralmente, en los movimientos de lateralidad (Fig. 38);
- un eje de pivote vertical v centrado sobre una u otra de las articulaciones, para las desviaciones laterales (Fig. 39). Uno de los cóndilos permanece fijo en la cavidad glenoidea y actúa de pivote, mientras que el otro se desliza hacia delante en la vertiente anterior de la glenoide;
- un eje oblicuo u centrado sobre una u otra de las articulaciones, para los movimientos asociados de desviación lateral con apertura (Fig. 40). Un movimiento de apertura exagerado, durante un bostezo por ejemplo, puede desplazar los dos cóndilos de forma que sobrepasen la prominencia de la raíz transversa de la apófisis cigomática. Los cóndilos se bloquean y la luxación es permanente e irreductible, siendo necesaria una maniobra de reducción.

Todos estos movimientos pueden ser asociados en acciones de aplastamiento tangencial que permiten moler los alimentos más duros.

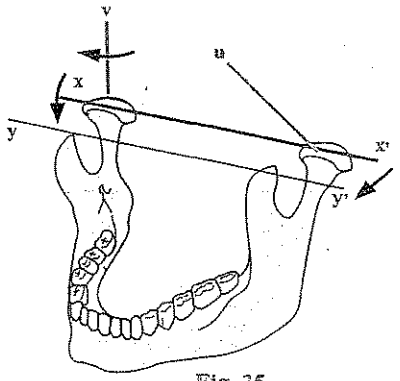


Fig. 35

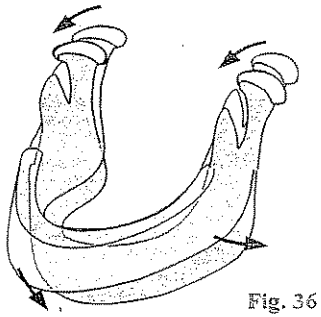


Fig. 36

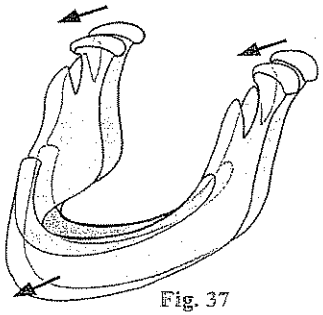


Fig. 37

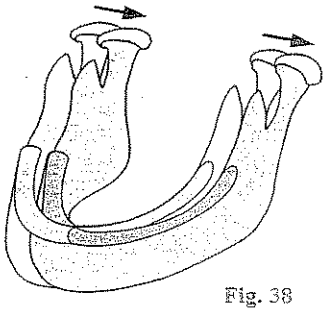


Fig. 38

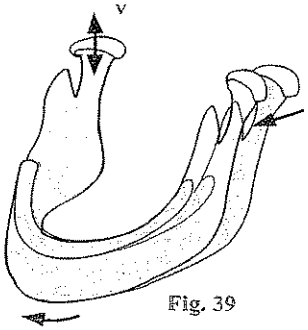


Fig. 39

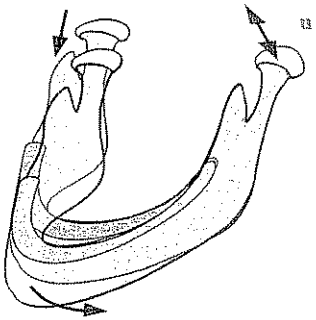


Fig. 40

Los músculos masticadores del cierre mandibular

Los músculos de la oclusión mandibular son **tres**, de los cuales dos son visibles en una **visión externa del cráneo** (Fig. 41):

- el **músculo temporal** 1, ancho, potente y plano, que se inserta en forma de amplio abanico en toda la superficie de la fosa temporal, por debajo de la arcada cigomática que atraviesa, para insertarse por medio de un tendón en la apófisis coronoides de la mandíbula;
- el **músculo masetero** 2, se origina en la cara externa del ángulo de la mandíbula, para insertarse en el borde inferior de la arcada cigomática;
- el **músculo pterigoideo medial** 3, que se origina en la cara interna del ángulo de la mandíbula, se dirige oblicuamente hacia arriba, hacia dentro y hacia delante para insertarse en la concavidad de la **apófisis pterigoidea** 5. Se localiza por detrás del borde posterior de la mandíbula. Este tercer músculo no es visible más que tras la extirpación de la mitad opuesta de la mandíbula. En esta **visión externa del cráneo** (Fig. 42), puede apreciarse entonces la cara interna de la mandíbula derecha.

Como es posible observar en estas dos figuras, estos tres músculos tiran fuertemente el ángulo de la mandíbula hacia arriba. Puede deducirse su potencia por el hecho de que algunos acróbatas pueden suspenderse gracias a la fuerza de sus mandíbulas.

Una visión posterior de la **mandíbula** (Fig. 43), ligeramente asimétrica hacia la derecha, muestra estos tres músculos. En este artífice de presentación, puede observarse la mandíbula por su **cara posterior** y sólo se ha conservado del resto del cráneo la apófisis pterigoidea 5 y la arcada cigomática 6:

- el **músculo temporal** 1, se inserta en la apófisis coronoides y se extiende hacia la fosa temporal;
- el **músculo masetero** 2, por fuera e insertado por arriba en la arcada cigomática 6;
- el **músculo pterigoideo medial** 3, por dentro, que forma una hamaca muscular que **eleva** el ángulo de la mandíbula y se inserta por arriba sobre la apófisis pterigoidea 5.

En esta figura, puede distinguirse también el **músculo pterigoideo lateral** 4, que se extiende transversalmente entre la cara externa de la **apófisis pterigoidea** 5 y el cuello de la apófisis condílea. Este músculo no es un elevador de la mandíbula, pero, sin embargo, contribuye a su apertura (*véase* la pág. 300).

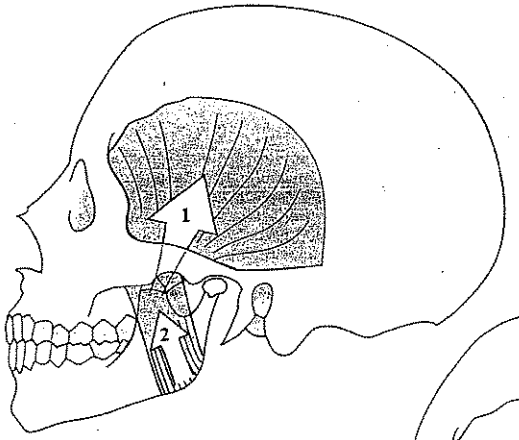


Fig. 41

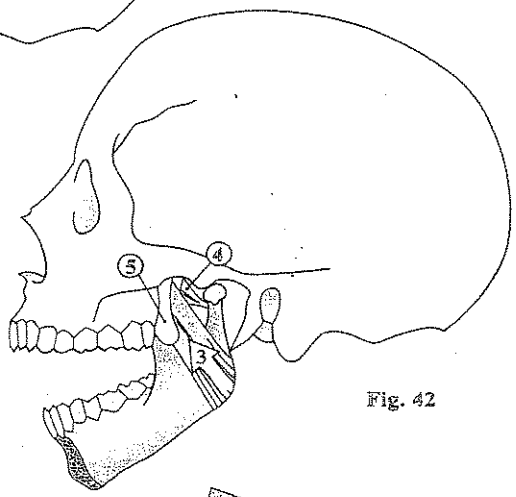


Fig. 42

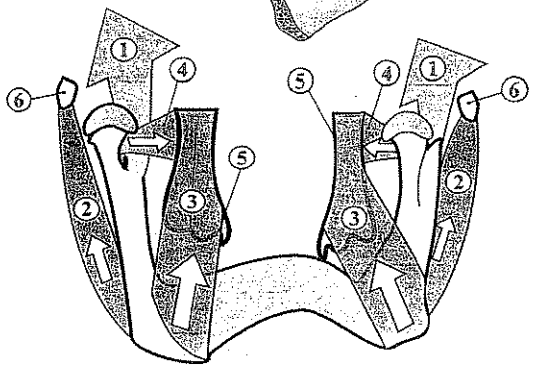


Fig. 43

Los músculos de la apertura mandibular

Los músculos motores de la apertura mandibular, y por lo tanto de la apertura de la boca, son más numerosos y menos potentes que los que garantizan la oclusión mandibular. Es necesario recalcar que la gravedad actúa en el sentido de la apertura: es lo que se produce automáticamente durante el sueño o en caso de pérdida de conciencia.

Los músculos motores de la apertura están ubicados, todos excepto uno, por debajo de la mandíbula. El hueso **hioides** y el **cartílago tiroides** desempeñan el papel de relevo entre la mandíbula y el orificio superior del tórax, formado por la primera costilla, a cada lado, y el manubrio esternal, en el centro.

Los músculos se reparten pues en **dos grupos**: los músculos subhioideos y los músculos tirohioideos (Fig. 44).

Los **músculos infrahioideos** comunican el **aparato tirohioideo** con la cintura escapular y el esternón. Se hallan de dentro afuera, en el borde inferior del hueso hioides h:

- el músculo **tirohioideo 1**, que desciende verticalmente para fijarse en la vertiente superior de la cresta oblicua del cartílago tiroides t. Se prolonga hacia abajo mediante los tres músculos siguientes;
- el músculo **esternotiroideo 2**, banda muscular que parte de la vertiente inferior de esta misma cresta para acabar fijándose sobre el manubrio esternal;
- el músculo **esternohioideo 3**, que se extiende desde el esternón al hueso hioides y se fija sobre el manubrio esternal por fuera del anterior, sobrepasando el extremo interno de la clavícula. Se fija sobre el hueso hioides por fuera del músculo tiroideo;
- el músculo **omohioideo**, músculo estrecho y digástrico, que parte del borde superior del omóplato. Su vientre inferior 4 se dirige hacia arriba, hacia dentro y ligeramente hacia delante hasta la fosa supraclavicular, donde presenta su **tendón intermedio**. A partir este punto, su vientre superior 5 cambia de dirección para ascender casi verticalmente e insertarse en el borde inferior del hueso hioides, por fuera de los anteriores.

Todos estos músculos **descienden el hueso hioides y el cartílago tiroides** y ofrecen resistencia a los músculos suprahioideos.

Los músculos **suprahioideos** forman la zona superior de los músculos de la apertura mandibular.

El hueso hioides está atado por detrás a la base del cráneo por:

- el músculo **estilohioideo 6**, que se extiende desde la apófisis estiloides e al hueso hioides;
- el **músculo digástrico**, cuyo vientre posterior 7 se fija sobre la apófisis mastoides m. Se dirige hacia abajo y hacia delante y su tendón intermedio se desplaza por la **corredera fibrosa 8**, para fijarse al pequeño cuerno de hueso hioides. Su **vientre anterior 9** cambia de dirección y se dirige hacia arriba y hacia delante para fijarse a la cara interna de la parte mentoniana de la mandíbula. En la figura también se representa el vientre anterior del músculo digástrico izquierdo 9'.

El hueso hioides está unido a la mandíbula por medio de dos músculos más:

- el músculo **genihioideo 10**, vasta capa muscular que se extiende desde el hueso hioides a la cara interna de la mandíbula;
- el **músculo milohioideo 11**, vasta capa muscular que se extiende en semicornete entre el hueso hioides y la cara interna de la mandíbula (se trata del músculo milohioideo izquierdo que forma **el suelo de la boca**).

Todos estos músculos **descienden la mandíbula, apoyándose sobre el hueso hioides**, fijado por los músculos infrahioideos. Como se ha podido ver anteriormente estos músculos son **flexores a distancia del raquis cervical** si actúan sinérgicamente con los músculos masticadores.

El último músculo que interviene en la apertura es el músculo **pterigoideo lateral** observable en una visión interna de la mandíbula, por debajo de la base del cráneo (Fig. 45). Su cuerpo muscular 12 se extiende desde la cara externa de la apófisis pterigoidea a la cara anterior del cuello la apófisis condílea. Desplaza el cuello hacia delante haciendo así vascular la mandíbula en torno a su centro de rotación O, lo que desencadena la apertura de la boca. Sin su acción, la apófisis condílea permanecería bloqueada en la cavidad glenoidea. También **desplaza el menisco hacia delante** (*véase* Fig. 32, pág. 297).

El músculo pterigoideo lateral desempeña pues un papel esencial en la apertura de la boca.

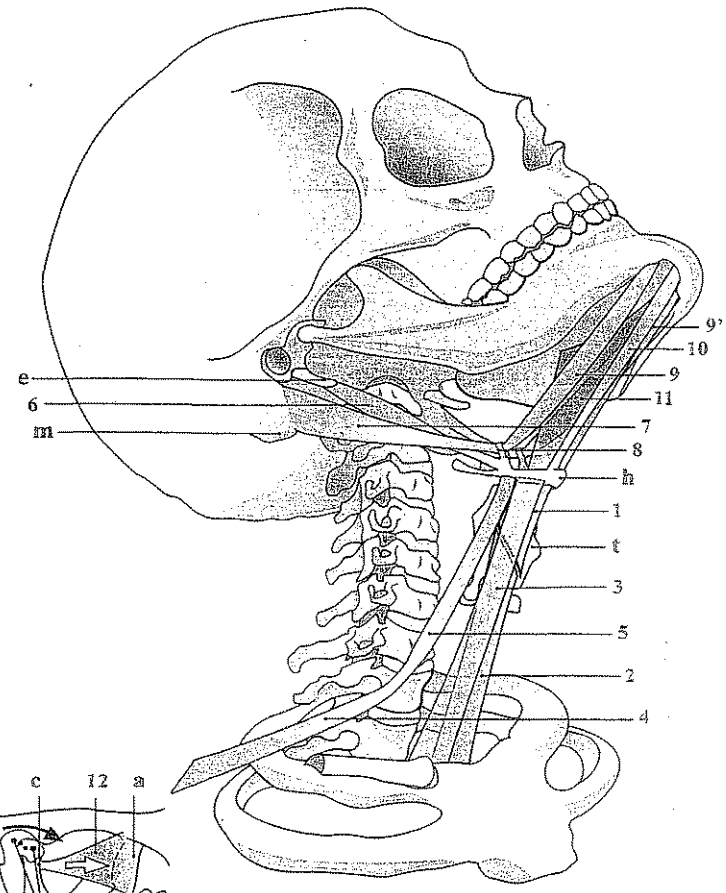


Fig. 44

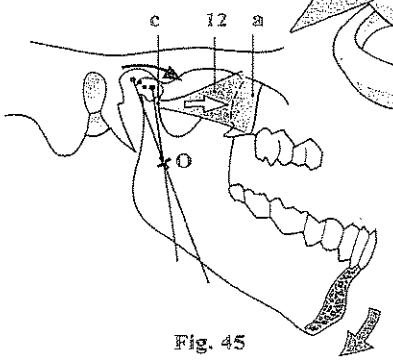


Fig. 45

El papel de los músculos en los movimientos mandibulares

Ahora es posible interpretar los movimientos en función de las acciones musculares:

- el **movimiento de protracción** (Fig. 46), es decir de avance de la mandíbula, se debe a la acción simultánea de los músculos **pterigoideos laterales**;
- el **movimiento de desviación lateral** (Fig. 47) se debe a la contracción del músculo **pterigoideo lateral**, del lado opuesto al sentido de la desviación, y del músculo **masetero** del lado de la desviación (invisible en la figura);
- el **desplazamiento lateral sin desviación** (Fig. 48) se produce gracias a la contracción del músculo **masetero** del lado del desplazamiento y del músculo **pterigoideo medial** del lado opuesto;
- el **movimiento de desviación lateral en torno a un eje oblicuo en una de las articulaciones temporomandibulares** (Fig. 49) se efectúa gracias a la contracción simultánea del músculo **masetero del lado** de la desviación y del músculo **pterigoideo lateral** del lado opuesto;
- el descenso de la mandíbula y la **apertura de la boca** (Fig. 50) se deben a la acción simultánea de los músculos **supra** e **infrahioideos** y de los músculos **pterigoideos laterales**;
- finalmente, el cierre, la oclusión mandibular (Fig. 51) y la fricción de las arcadas dentales una contra la otra se debe a la contracción bilateral y simultánea de todos los músculos masticadores, es decir, los músculos **maseteros**, los músculos **temporales** y los músculos **pterigoideos mediales**.

En los movimientos reales de masticación, estas acciones elementales se combinan en proporciones y grados diversos, evolucionando en el transcurso del movimiento.

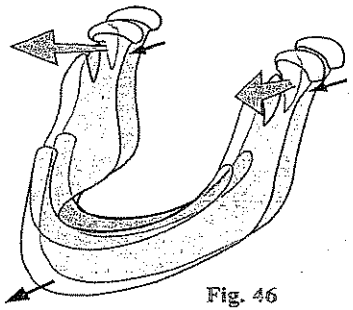


Fig. 46

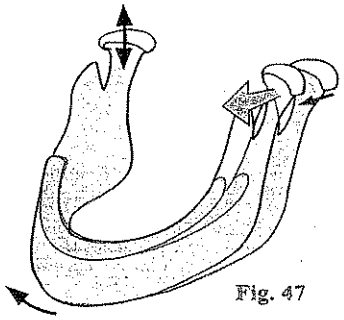


Fig. 47

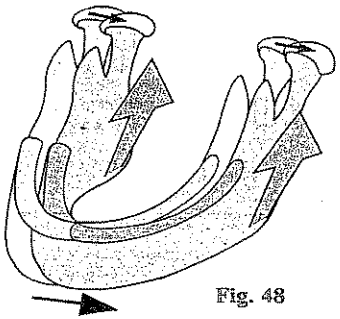


Fig. 48

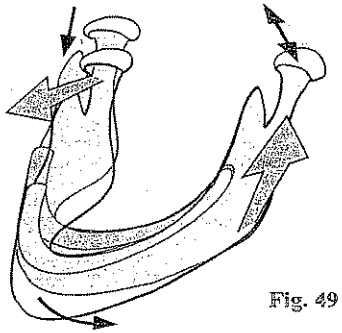


Fig. 49

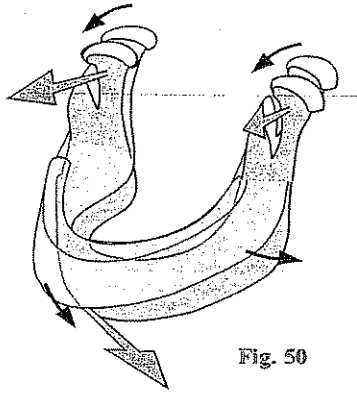


Fig. 50

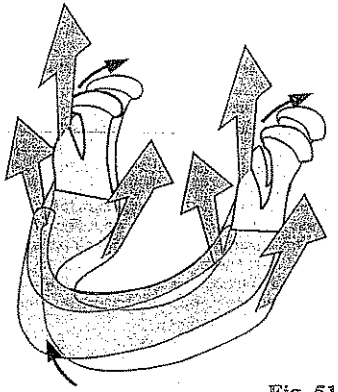


Fig. 51

El globo ocular: una enartrosis perfecta

Los cirujanos ortopédicos así como los fisioterapeutas no tienen en mente que **el globo ocular es una enartrosis**, una articulación esférica, como las articulaciones de la cadera y el hombro. Se trata incluso de una **enartrosis perfecta (Fig. 52, corte de la órbita)**, un globo esférico compuesto por la **esclerótica 1** flexible y resistente, incluida en la vaina del bulbo del ojo 2, proporcionando una superficie de deslizamiento también esférica y flexible, y por lo tanto permanentemente adaptable, separada del globo por el espacio de Tenon 3, con un par de acoplamiento que sobrepasa el 50% habitual.

De hecho, la vaina del bulbo del ojo, gruesa en torno al ecuador 2 del globo, se hace progresivamente más fina y más flexible 4 hacia los polos, especialmente hacia el polo **posterior** 5 por donde penetra el nervio óptico 6.

Este sistema esférico, envuelto en una atmósfera celuloadiposa 7, semilíquida, suspendida en las paredes de la órbita por medio de tractos fibrosos 8 que emanan de las vainas de los músculos 9 del globo ocular: **músculo recto superior 10, músculo recto inferior 11, músculo oblicuo inferior 12** (visión en corte), **músculo elevador del párpado superior 13** (los otros músculos no pueden visionarse en este corte). Es la mejor suspensión elástica de todo el cuerpo. Está perfectamente protegida en las **paredes óseas de la órbita 14**, por delante, por los **párpados 15**, y la continuidad del revestimiento está garantizada por la conjuntiva, que se repliega en forma de fondo de **saco conjuntivo 16** sobre el globo ocular.

Esta enartrosis es tan perfecta que podría tomarse como ejemplo para las otras enartrosis. De hecho, contiene **tres pares de músculos**, una por cada grado de libertad.

- Los **dos pares de músculos rectos (Fig. 53)** controlan los movimientos **rectangulares**, horizontales y verticales:
  - mirada hacia arriba: contracción del **músculo recto superior rs**;
  - mirada hacia abajo: contracción del **músculo recto inferior ri**;
  - mirada lateral: contracción del **músculo recto lateral rl**, del lado de la dirección de la mirada, y del músculo **recto medial rm** del lado opuesto.

En la **mirada rectangular**, la articulación esférica del globo ocular se comporta como **un cardan**: dos ejes (un eje vertical y un eje horizontal), dos grados de libertad. Todo es sencillo...

- Las cosas se complican en el caso de la **mirada oblicua (Fig. 54)**, bien hacia arriba, bien hacia abajo. Es entonces cuando interviene el tercer par de músculos motores del ojo, los **rotadores** en torno al **eje polar p** octogonal a los dos ejes vertical **v** y horizontal **h**, cuyas acciones son simétricas y opuestas:
  - el músculo **oblicuo inferior oi** es el más simple. Se inserta en el lado externo del globo, lo rodea por el debajo del ecuador, y, dirigiéndose hacia dentro, acaba fijándose en la pared de la órbita en su ángulo inferior interno. El músculo **oblicuo inferior izquierdo** hace girar el globo en el sentido de las agujas del reloj, denominado **sentido horario**. El músculo **oblicuo inferior derecho** le imprime una **rotación anti-horaria**. Así pues son perfectamente antagonistas y no se contraen nunca a la vez;
  - el músculo **oblicuo superior** os es más complejo. Se trata de un músculo digástrico, cuyo tendón intermedio se pliega sobre sí mismo en una polea fibrosa fija al borde superointerno de la órbita. Su primer cuerpo muscular tiene un trayecto idéntico, pero opuesto al del músculo oblicuo inferior: se inserta en el lado externo del globo, envuelve su ecuador por arriba, y se dirige hacia dentro para introducirse en la polea. Cambia entonces de dirección para fijarse, en el fondo de la órbita, con los músculos derechos. El músculo **oblicuo superior izquierdo** hace girar el globo en el sentido antihorario. El músculo **oblicuo superior derecho** le imprime una rotación horaria. En este sentido son pues perfectamente antagonistas y no se contraen jamás a la par. Sin embargo, poseen una **sinergia cruzada** con los músculos oblicuos inferiores: el músculo oblicuo superior derecho con el músculo oblicuo inferior izquierdo; y viceversa. Igualmente, son **antagonistas homolaterales:** el músculo oblicuo superior derecho contra el músculo oblicuo inferior derecho; e igualmente en el caso del lado izquierdo.

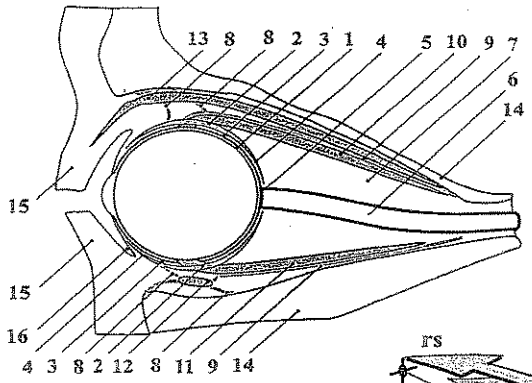
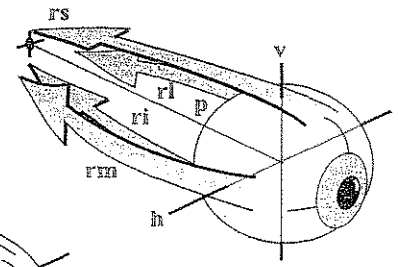


Fig. 52



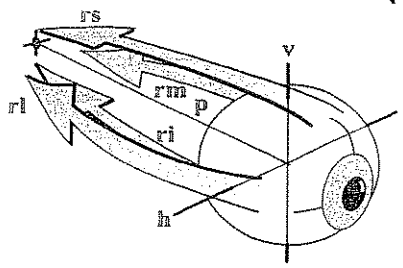
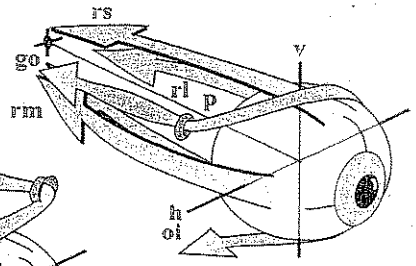


Fig 53



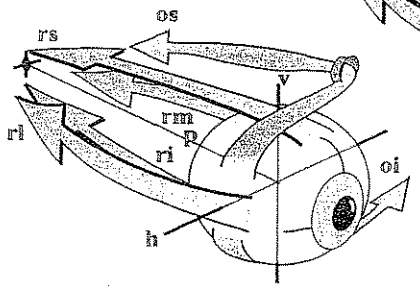


Fig. 54

Los motores oculares en los movimientos rectangulares

Los **movimientos rectangulares** de los globos oculares, es decir en la mirada horizontal y la mirada vertical, son fáciles de explicar poniendo en juego únicamente a los músculos derechos.

En la **mirada lateral (Fig. 55)**, los músculos derechos medial y lateral se contraen:

- al mirar **hacia la derecha**, la acción simultánea del músculo recto lateral derecho y del músculo recto medial izquierdo hace girar el globo ocular sobre su eje vertical v;

al mirar **hacia la izquierda**, ocurre a la inversa, se contraen el músculo recto lateral izquierdo y el músculo recto medial derecho.

En la **mirada vertical (Fig. 56)** los músculos rectos superior e inferior se contraen:

- al **mirar hacia arriba**, los dos músculos rectos superiores hacen girar el globo ocular sobre su eje horizontal **h**;
- al **mirar hacia abajo**, es a la inversa, aparece una contracción de los dos músculos rectos inferiores.

En el transcurso de estos dos tipos de movimientos, la articulación esférica del globo ocular **se comporta mecánicamente como un cardán**, es decir una articulación con dos ejes y dos grados de libertad. El tercer grado de libertad, a saber la rotación del globo ocular sobre su eje polar, no se utiliza y no aparece.

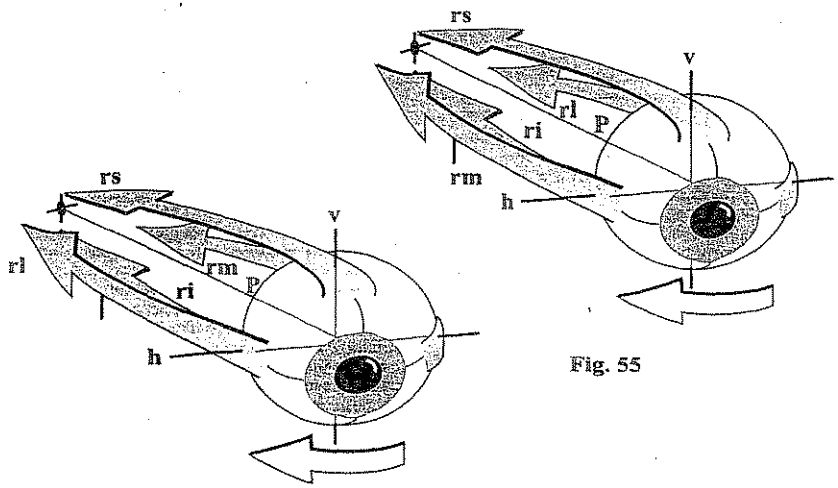


Fig. 55

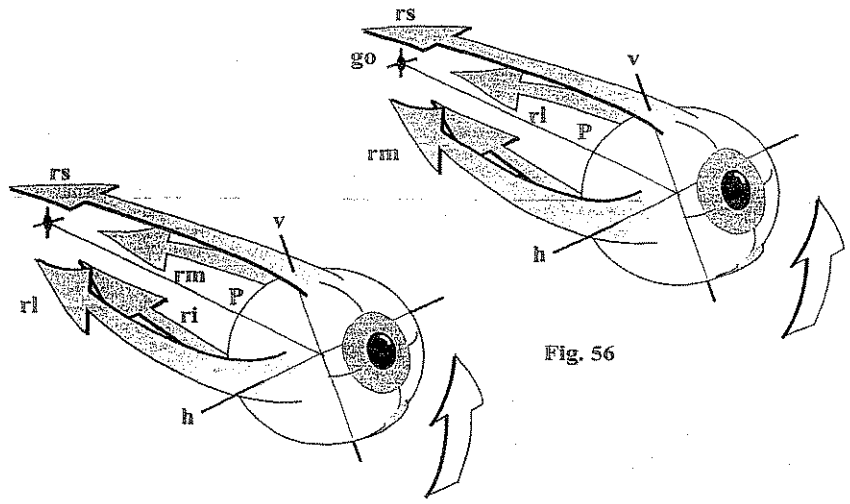


Fig. 56

Los motores oculares en la convergencia de la mirada

La **visión estereoscópica** (**Fig. 57**) necesita la **convergencia de la mirada** de cada ojo, para obtener para cada ojo una imagen la más parecida posible a la de su simétrico.

Cuando un **objeto está muy distante**, en el horizonte o en el cielo, está de todas formas **más allá del punto remoto PR**, punto que representa el límite de convergencia de los dos ojos. En ese instante, el paralaje desaparece y no hay ninguna diferencia entre las dos imágenes: la sensación de relieve desaparece y la distancia deja de ser apreciable de forma precisa.

La **telemetría**, medida intuitiva de las distancias, depende pues del grado de convergencia del radio principal de los dos ojos.

Para el punto remoto, los radios **son prácticamente paralelos**, lo que define la ausencia de paralaje. Pero si, por ejemplo, se duplica la base **B**, es decir la **separación entre las pupilas**, el punto remoto va a retroceder el doble de la distancia con la base normal. Es el principio de **telemetría** que utilizan los astilleros, especialmente en la marina, para evaluar la distancia del objetivo: la base telemétrica tenía la distancia de la torre de artillería... Todo esto ha pasado de moda con la **utilización del radar**, pero el principio permanece vigente.

Igualmente, la visión estereoscópica **sólo es posible si los dos ojos están de cara**, lo que no es el caso de la mayoría de los pájaros, excepto los **rapaces**, como el águila, de este modo pueden localizar sus presas con una gran precisión. ¡Podría pues deducirse que los predadores tienen obligatoriamente los ojos de cara...!

¿Qué pasa pues más allá del punto remoto?

La distancia, procedente del ángulo de convergencia **P**, se aprecia por la **tensión diferencial entre los dos músculos rectos mediales**, y esto hasta el **punto próximo**, a partir del cual la convergencia no está garantizada. **Más allá** del punto remoto, la diferencia entre las dos **imágenes**, cada vez más importante a medida que el objeto se aproxima, va a crear la sensación de **relieve del objeto**, gracias al análisis cortical.

El cálculo extremadamente rápido de la **distancia instantánea de un objeto en movimiento**, y por lo tanto **amenazante**, corre a cargo del tronco cerebral. Imagínese esta operación cerebral en un **jugador de tenis** que ve llegar una pelota lanzada a gran velocidad y debe calcular su velocidad y prever su trayectoria...

¡Que **maravilla de ordenador el que posee el hombre**...! Pero esto explica también la jubilación rápida de los campeones en el deporte, ya que no sólo hay que moldear la trayectoria, sino que además, es necesario **concebir, en una fracción de segundo**, el gesto del brazo que sujeta la raqueta y la actitud de todo el cuerpo para interceptar ese proyectil y reenviarlo en una dirección improbable para el adversario... ¡Nuevamente, que maravilla!

En el individuo normal, la convergencia de los ejes de cada ojo está perfecta y automáticamente regulada por el sistema nervioso y la contracción de los músculos, especialmente de los músculos recto medial y recto lateral. La deficiencia de regulación de esta convergencia se denomina estrabismo; puede ser interna, cuando los ejes convergen demasiado, o externa, cuando los ejes divergen. Esta alteración puede tener una causa neurológica o muscular, uno de los músculos rectos puede ser demasiado corto o demasiado largo. Con frecuencia es el caso del estrabismo congénito que puede corregirse mediante una intervención quirúrgica en uno de los músculos rectos laterales.

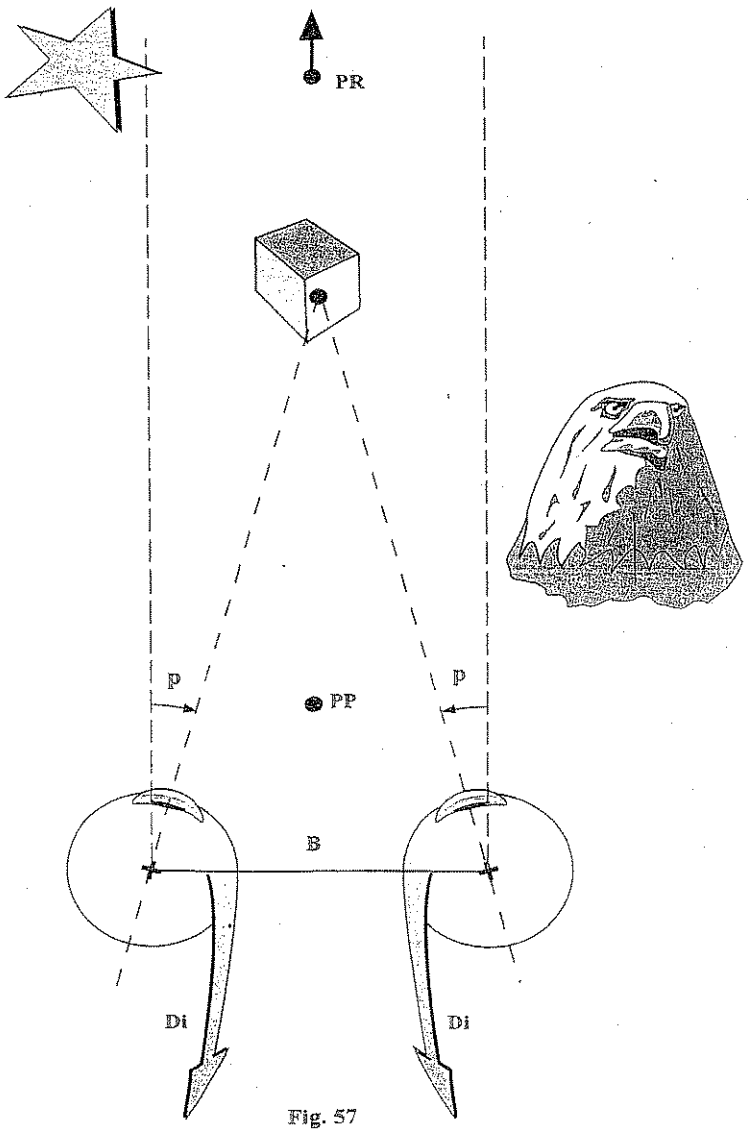


Fig. 57

El problema mecánico de la mirada oblicua

Tras la simplicidad de los movimientos oculares en la mirada rectangular, conviene comprender ahora el problema de los movimientos oculares en la **mirada oblicua**. Para ello, es necesario retomar la noción de cardán ya analizada en el tomo 1, (*véase* pág. 18), en relación a la articulación del hombro (**paradoja de** Codmann) y a la articulación trapezometacarpiana (rotación en pronación de la columna del pulgar). En la **posición de reposo (Fig. 58)**, mirada de frente hacia el horizonte, el meridiano horizontal **m** del globo ocular es paralelo al horizonte. Esta materializado a la derecha (**Fig. 59**), sobre el modelo de cardán, para la línea **k**.

Cuando la mirada desciende (**Fig. 60**), el meridiano **m** permanece paralelo a la línea del horizonte **k** del modelo, que efectúa el mismo movimiento (**Fig. 61**). Si, tras haber desplazado la mirada hacia abajo, ahora se desplaza la mirada **hacia la derecha (Fig. 62)**, el meridiano **m** pierde su horizontalidad y se inclina hacia abajo y a la izquierda. Esto queda perfectamente explícito en el modelo de cardán **(Fig. 63)**, donde el segmento móvil, debido a la rotación sobre los dos ejes, padece él mismo una **rotación automática** sobre su eje longitudinal, como necesita la mecánica de los cardanes, y como lo describe Mac Connail bajo el nombre de **rotación conjunta**. Resultado: el horizonte ya no es horizontal.

Es en ese preciso momento en el que interviene la corrección (**Fig. 64**), posible en una articulación de **tres grados de libertad**, una enartrosis. Esta **rotación refleja**, por decirlo de alguna manera, es posible en el presente caso gracias a la contracción del músculo que rodea el globo ocular por debajo, el músculo **oblicuo inferior oi**, lo que desplaza el meridiano **m** hacia la horizontal: en la imagen proporcionada por este ojo, el horizonte será horizontal. Una tercera rotación en el modelo (**Fig. 65**) lleva a cabo esta corrección haciendo pasar la línea **k** a la posición **k´**, lo que establece la horizontalidad. La corrección del componente de rotación automático mediante la acción de los músculos oblicuo superior **os** y oblicuo inferior **oi** es totalmente refleja de origen central gracias a un mecanismo de extrema precisión. Las órdenes se transmiten por medio del nervio motor ocular común (3er par craneal) en el caso del músculo oblicuo inferior **oi** y por el nervio troclear (6 ° par craneal) en el caso del músculo oblicuo superior **os**.

Se trata del mismo mecanismo que en la **articulación del hombro** corrige la pretendida **paradoja de Codmann** (*véase* el Tomo 1, pág. 19). Asimismo, la **rotación conjunta** del cardán de la articulación trapezometacarpiana **hace girar la columna del pulgar en pronación, durante la oposición** (*véase* el Tomo 1, pág. 303).

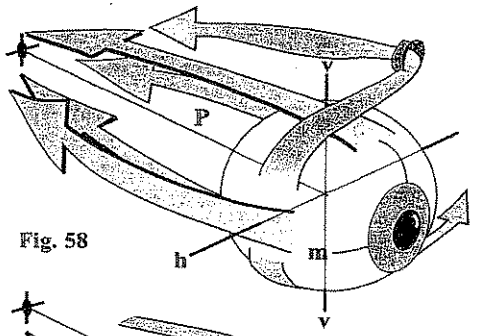


Fig. 58

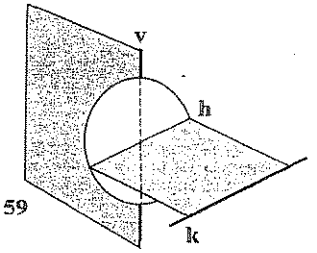


Fig. 59

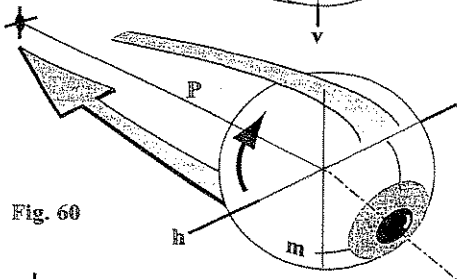


Fig. 60

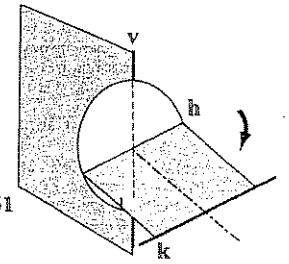


Fig. 61

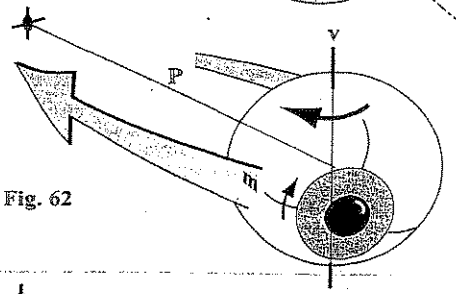


Fig. 62

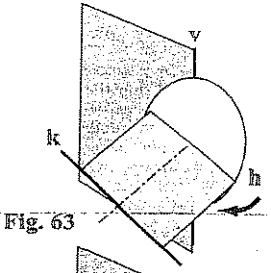


Fig. 63

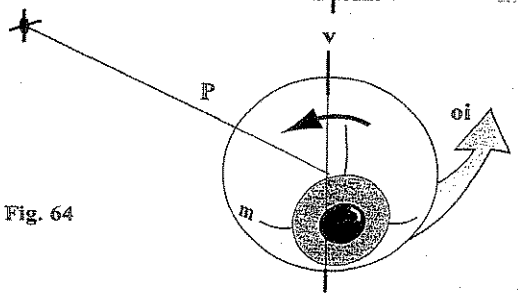


Fig. 64

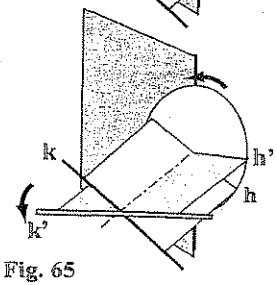


Fig. 65

La mirada oblicua: papel de los músculos oblicuos y del nervio troclear

Habiendo asimilado la importancia del tercer grado de libertad en el control de los movimientos del globo ocular, ahora es posible describir estos movimientos en la mirada oblicua.

Cuando la mirada es **oblicua hacia arriba** (Fig. 66), expresando la **sorpresa**, la **consternación** o la **desesperación**, como en el ejemplo de "la hermana desconsolada" (*El Hijo Pródigo*, pintura de JB. Greuze, museo del Louvre) que mira arriba y a la derecha, las horizontales basculan hacia arriba y hacia la derecha (Fig. 67). Este componente lo corrige la acción del **músculo oblicuo superior OS a la derecha** y la del **músculo oblicuo inferior OI a izquierda**. La acción coordinada y simultánea de estos dos músculos devuelve al meridiano r al plano horizontal; en la imagen proporcionada por ambos ojos, el horizonte coincide.

Cuando la mirada es **oblicua hacia abajo** (Fig. 68), expresando así el desprecio, la ironía como en el ejemplo de La Bohemia (pintura de F. Hals, museo del Louvre), en la mirada por el borde del ojo hacia abajo y hacia la izquierda, las horizontales basculan hacia abajo y hacia la izquierda (Fig. 69) y la contracción del músculo oblicuo superior izquierdo OS y la del músculo oblicuo inferior izquierdo derecho OI, enderezan la imagen. Esta acción coordinada y simultánea de estos dos músculos devuelve el meridiano r al plano horizontal; en la imagen proporcionada por ambos ojos, el horizonte coincide.

Puede entenderse pues la utilidad de estos dos pequeños músculos de los que no se comprende demasiado bien su papel cuando se empieza a estudiar anatomía: efectúan automáticamente la corrección de la rotación conjunta creada por la oblicuidad de la mirada.

El lado interesante de este mecanismo, es que dos músculos diferentes, e inervados por dos nervios diferentes, actúan simultáneamente en perfecta armonía, para compensar exactamente el componente parásito que **restablece la coincidencia de las horizontales y de las verticales**, sin la que las dos imágenes, ligeramente diferentes, de la **visión estereoscópica no podrían interpretarse**.

El nervio troclear, antiguamente denominado nervio patético, ya que se emplea en la mirada del mismo nombre, 4 ° par craneal, es únicamente motor: es el nervio de un único músculo, el músculo **oblicuo superior**. Aquellos que hayan experimentado una parálisis viral transitoria, saben que resulta imposible coordinar los dos horizontes, lo que es muy molesto para conducir en automóvil. El músculo oblicuo inferior está inervado por el nervio oculomotor, 3 er par craneal, que inerva todos los músculos del ojo excepto dos, el músculo recto lateral, inervado también por un único nervio, el nervio abducens, 6 ° par craneal.

Fig. 66

Fig. 68

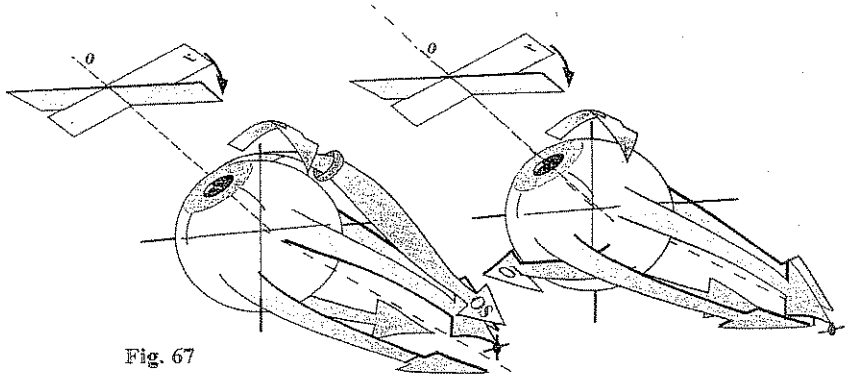


Fig. 67

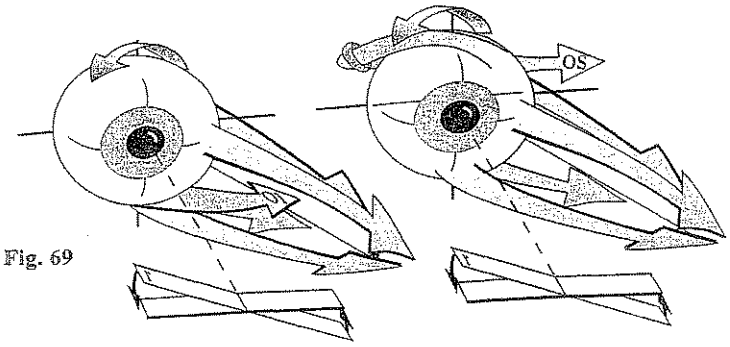


Fig. 69

Índice analítico

A

Accidentes de coche 214
Acetábulo 52
Adagio 172
Adenoma de próstata 80
Águila 310
Agujero de conjunción 80, 134
Agujero vertebral 88
Ampolla enfisematosa 170
Anestesia general 170
Anfiartrosis 22, 56, 64
Ángulo de inclinación de la pelvis 86
Ángulo lumbosacro 86
Ángulo muerto posterior 284
Ángulo sacro 86
Anillo fibroso 22
Anillo pélvico 50
Aparato laríngeo 182
Apófisis articulares 268
Apófisis costoideas 88
Arteria vertebral 190
Artrosis raquídea 30
Asfixia 174
Atelectasia 170
Avión biplano 278

B

Balinesa 266
Barra de torsión 178
Beso 288
Bifurcación carotídea 272
Buccin 286
Bulbos olfativos 278

C

Caja craneal 278
Campo visual 284
Cantantes 172
Canto 288
Carga de peso en la cabeza 262
Carilla articular 56
Cavidad abdominal 100
Centro frénico 164
Cervicoartrosis 270
Charnela lumbosacra 98
Ciática 136
Ciática paralizante 138
Cierre de la glotis 174
Cifosis 172
Cifosis dorsal 118, 172
Cifosis torácica 118, 172
Cincha abdominal 112, 164
Cola de caballo 138
Complianza 176
Cono terminal 138
Contención urinaria 78
Contra nutación 60, 76
Crossopterygii 2
Cuadriplejía 214
Cuello radicular 134
Cuerda dorsal 22
Cuerdas vocales 184
Cuerpos cavernosos 80
Cuerpos eréctiles 80
Cuerpos esponjosos 80
Cuerpos extraños 174
Curvas raquídeas 56

D

Defecación 64, 78
Deglución 182
Desarmada 144, 292
Diagrama de Penning 218
Diferencia de fase 284
Dilatación aguda del estómago 170
Dimorfismo sexual 48
Disco intervertebral 20
Distocias 82
Distress respiratorio 170
Duchenne de Boulogne 276, 286
Duramadre 134

E

Elasticidad 176
Enartrosis 38
Encajamiento 76
Enderezamiento consciente de la lordosis lumbar 118
Enderezamiento de la lordosis lumbar 118
Enfermedad de Schauermann
Envejecimiento 28
Epitelio ciliado 180
Equilibrio de la cabeza 262
Equilibrio dinámico 164
Erección 78, 80
Escoliosis 36
Espacio muerto 174
Espacio retroperitoneal 100
Espondilolisis 96
Espondilolistesis 96, 126
Estrabismo 310
Experimento de Funck 166
Expresión facial 276, 288

F

Falsa ruta 180
Faringe 180
Fatiga 292
Feto 66
Fick y Weber 228
Filtración 174
Fisioterapeutas especializados 124
Flecha de lordosis lumbar 86
Fonación 174, 182, 276
Fosas nasales 174
Fosita de Sédilot 236
Fractura costal 170
Freno de nutación 66
Fuerzas de cizallamiento 148
Función de la nariz 276

G

Gestación 46, 48
Glaser 296
Globo vesical 80
Glotis 180, 182
Goniómetro 266
Greuze 314
Guiño 286
Guitarristas 124

H

Hals 314
Hematosis 170
Hemotorax 170
Hendidura urogenital 70
Herida pleuropulmonar 170
Hernia discal 84
Hernia intra-esponjosa 136
Hexágono de Willis 272
Hidrotórax 170
Hilera genital 74
Hipérbole de revolución 112

I

Índice de Delmas 234
Inestabilidad atlanto-axial 252
Infecciones broncopulmonares 174
Infiltración peridural baja 82
Inhalación intempestiva 180

J

Jirafas 284
Jugador de tenis 310

K

Kouros 124

L

Láminas 144
Lenguaje facial 286
Lenguaje gestual 286
Levantamiento una carga 138
Ligamento amarillo 20, 134
Ligamento axial 60
Ligamento cruziforme 206

Línea alba 100
Línea bimastoidea 40
Línea de los hombros 132
Línea arqueada 74
Línea traumatismo "en forma de latigazo" 214
Llantos 292
Localización de las referencias 284
Lordosis cervical 118, 234
Lumbago 84, 138
Lumbalgia 136
Lumbociatalgia 138

M
Maniobra de Heimlich 180
Maniobra de Valsalva 120
Médula espinal 134
Menisco 296
Meseta sacra
Meteorismo abdominal importante 170
Micción 78, 80
Moco 180
Modelo mecánico 36, 224
Modificar la expresión facial 286
Movimientos mixtos de inclinación-rotación-extensión 220
Músculos cutáneos 276
Músicos 124, 172

N
Nadadores 172
Nervio crucal 138
Nervio patético 314
Nervio raquídeo 134
Nervio recurrente 184
Nevios laríngeos 180
Neumotórax 170
Nivel-pivote 132
Nucleos pulmosos 22
Nutación 60, 76

O
Ockham 272
Ordenador central 276
Orificios de la carga 286
Orofaríngeo 180

P
Paradoja de Codmann 312
Paralejo 310
Parálisis del nervio frénico 170
Parálisis facial 288
Paraplegia 214, 268
Paquipleuritis 170
Parto 46, 64, 76
Peces 284
Pedículo 88
Pedículo vertebral 274
Pedículos 144
Pelvis menor 74
Pene 80
Penning y Brugger 228
Periné 46
Periné femenino 78
Periné masculino 80
Perro pequeño 96
Plano masticador 38
Pleura 166
Pleuresia 170
Poliomielitis 180
Poliomieliticos 180
Posición denominada asténica 118
Posición denominada de relajación 126
Postura praxiteliana 124
Priapismo 80
Primates 56
Principio de economía universal de Ockham 272
Prolapso 76
Promontorio 66
Promontorio sacro 74
Punto próximo 310
Punto remoto 310
Puzzle 280

R
Radar 310
Radiculalgias 136
Raíz raquídea 134
Rapaces 310
Reacción del suelo R 66
Recalentamiento 174
Receptores sensoriales 276
Relación de antagonismo-sinergia 164
Resortes 176
Respiración paradójica 170
Reversión posterior 86
Riesgo de muerte súbita 214
Risa 292
Rodin 162
Rombo de Michaelis 8, 82
Rotación-torsión 148
Ruptura de un bronquio 170

S
Saco dural 134
Saludo 60
Sector de visión exterior estereoscópica 284
Sensación de relieve 310
Signo de Lasègue 140
Silbido 288
Silla 210
Silla turca 234
Síndrome de los trapecios 126
Sínfisis púbica 66, 74
Sistema auto bloqueo 52
Sonrisa 288, 290
Spix 296
Submarinistas 170, 174
Superficie auricular 54
Suturas 276

T
Talle 112
Tectónica de las placas 280
Telemetría 284, 310
Tetraplejia 268
Torsión del cartílago costal 156
Tortícolis congénita 236
Tos 180
Trabajo 76
Traqueotomía 174
Traumatopnea 170
Trigonometría 222
Trolard 256
Trompeta 288
Tronco basilar 272
Tronco lumbosacro 138
Tubérculo de Lisfranc 242

V
Vaina de los rectos 100
Violonistas 124
Vía sensitiva centripeta 180
Viga pretensada 26
Vocal 290
Volumen del farolillo 172

W
Weneger 280
Winckler 256

Bibliografía

Azernd J. *Physiologie de la manducation*. Masson, Paris, 1992.

Barnett C.H., Davies D.V., MacConaill M.A. *Synovial joints. Their structure and mechanics*. C.C. Thomas, Springfield, 1961.

Barnier L. *L'analyse des mouvements*. PUF, Paris, 1950.

Basmajian J.V. *Muscles alive. Their function revealed by electromyography*. Williams-Wilkins, Baltimore, 1962.

Bouisset S. *Biomécanique et physiologie du mouvement*. Masson, Paris, 2002.

Bridgeman G.B. *The human machine. The anatomical structure and mechanism of the human body*, Vol. 1. Dover Publications Inc., New York, 1939

Brinckmann P., Frobin W., Leivseth G. *Mucoloskeletal biomechanics*. Thieme, New York, 2002.

Bunnell S. *Surgery of the hand*. Lippincott, Philadelphie, 1944 (1re éd.), 1970 (5e éd. révisée par Boyes.

Calais-Germain B. *Anatomie du mouvement*, Tome 1. Désiris Revel, 1984.

Calais-Germain B. *Anatomie du mouvement. Bases d'exercices*. Désiris Revel, 2005.

Cardano Geroiamo : mathématicien italien (1501-1576). À propos du cardan : voir sur Internet.

Duchenne (de Boulogne) G.B.A. *Physiologie des mouvements 1*. J-B. Ballière et Fils, Paris, 1867 (épuisé). Fac simile hors commerce édité par les Annales de Médecine Physique, 1967.

Duchenne (de Boulogne) G.B.A *Physiology of motion*. Trad. de E.B. Kaplan. W.B. Saunders Co, Philadelphie et Londres, 1949.

Esnault M. *Rachis et stretching*. Masson, Paris, 2005.

Feher G, Szunyoghy A. Grand cours d'anatomie artistique. Könemann.

Fick R. *Handbuchder Anatomie und Mechanik der Gelenke*. Iena Gustav Fischer, 1911.

Fischer O. *Kinematik orhanischer Gelenke*. F. Vierweg und Sohn, Braunsschweig, 1907.

Gasquet (de) B. *Bien-être et maternité*. Implexe éditions, Paris, 1997.

Gauss Karl Friedrich : mathématicien allemand (1777-1855). La géométrie non euclidienne (à propos du paradoxe de Codmann) : voir sur Internet.

Ghyka Matila C. *Le Nombre d'or*. Gallimard, Paris, 1978.

Goudot R., Hérisson C. *Pathologie de l'articulation temporo-mandibulaire*. Masson, Paris, 2003.

Heimlich. La manœuvre d'Heimlich : tous les détails sur www.heimlichinstitute.org/howtodo.html.

Henke J. *Die Bewegungen der Hanwurzel. Zeitschrift für rationelle Medizine*. Zürich, 1859.

Henke W. Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. C.F. Wintersche Verlashandlung, Heidelberg, 1863.

Kapandji A.I. « La Biomécanique patate ». *Ann. Chir. Main* 1987; 5 : 260-3.

Kapandji A.I. « Vous avez dit Biomécanique ? La Mécanique "floue" ou "patate" ». *Maîtrise orthopédique* 1997; 64 : 1-11.

Lievre J.A, Bloch-Michel H, Attali P. « Trans-sacral injection : clinical and radiological study ». *Bull. Mem. Soc. Med. Hop. Paris* 1957; 73 (33-34) : 1110-8.

MacConaill M.A., Barnett C.H., Davies D.V. *Synovial joints*. Longhans Ed., Londres, 1962.

MacConaill M.A. « Movements of bone and joints. Significance of shape ». *J. Bone and Joint Surg.* 1953; 35.B : 290.

MacConaill M.A. « Studies in the mechanics of the synovial joints : displacement on articular surfaces and significance of saddle joints ». *Irish J. M. Sc.* 1946 : 223-35.

MacConaill M.A. *Studies on the anatomy and function of bone ans joints*. F. Gaynor Evans Ed., New York, 1966.

MacConaill M.A. « Studies in mechanics of synovial joints ; hinge joints and nature of intra-articular displacements ». *Irish J. M. Sc.* 1946, Sept : 620.

MacConaill M.A. « The geometry and algebra of articular kinematics ». *Bio. Med. Eng.* 1966; 1 : 205-12.

MacConaill M.A., Basmajian J.V. *Muscle and movements : a basis for human kinesiology*. Williams-Wilkins, Baltimore, 1969.

Marey J. *La Machine animale*. Alcan, Paris, 1891.

Moreaux A. *Anatomie artistique de l'homme*. Maloine, Paris, 1959.

Netter F.H. *Atlas d'anatomie humaine*. Masson, Paris, 2004.

Okham (d') Guillaume : moine franciscain anglais, philosophe scolastique(1280-1349). Le Principe d'Économie Universelle : voir sur Internet.

Özkaya N., Nordin M. *Fundamentals of biomechanics*, 2e éd. Springer, 1999.

Poirier P, Charpy A. *Traité d'anatomie humaine*. Masson, Paris, 1926.

Poitout D.G. *Biomechanics and biomaterials in orthopedics*. Springer, Londres, 2004.

Raseh P.J., Burke R.K. *Kinesiology and applied anatomy. The science of human movement*. Lea & Febiger, Philadelphie, 1971.

Riemann Georg Friedrich Bernhard : mathématicien allemand (1826-1866). La géométrie non euclidienne (à propos du paradoxe de Codmann) : voir sur Internet.

Roy-Camille R., Roy-Camille M., Demeulenaere C. « Ostéosynthèse du rachis dorsal, lombaire et lombo-sacré par plaques métalliques vissées dans les pédicules vertébraux et les apophyses articulaires ». *Presse Méd.* 1970; 78 : 1447.

Roy-Camille R., Saillant G., Mazel Ch. « Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating ». *Clin. Orthop.* 1986; 203 : 7-17.

Roud A. *Mécanique des articulations et des muscles de l'homme*. F. Rouge et Cie, Librairie de l'Université, Lausanne, 1913.

Rouvière H. *Anatomie humaine descriptive et topographique*. Masson, Paris, 2003.

Saillant G. « Étude anatomique des pédicules vertébraux. Applications chirurgicales ». *Rev. Chir. Orthop.* 1979; 62, 2 : 151.

Sobotta J. *Atlas d'anatomie humaine : nomenclature anatomique internationale*. Maloine, Paris, 1977.

Steindler A. *Kinesiology of the human body*. C.C. Thomas, Springfield, 1964.

Strasser H. *Lehrbuch der Muskel und Gelenkemechanik*. Springer, Berlin, 1917.

Testut L. *Traité d'anatomie humaine*. Doin, Paris, 1893.

Thill E., Thomas R. *L'Éducateur sportif*. Vigot, Paris, 2000.

Von Recklinghausen H. *Gliedermechanik und Lähmungsprostesen*. Springer, Berlin, 1920.

Modelo mecánico del raquis cervical

Este modelo es el **equivalente funcional exacto del modelo mecánico** descrito en las págs. 230-237 de este mismo tomo. Puede construirse, con un poco de método y de paciencia, a partir de los elementos que se han dibujado en la lámina 1. Con esta única intención, habrá que fotocopiar estos dibujos para no estropear el libro. Si puede realizarse fotocopia ampliándola un 50% será mucho más fácil. A continuación, utilizando papel carbón, lo que es bastante extraño desde que se abandonaron las máquinas de escribir, dibujar con cuidado estas piezas en una hoja de cartón, evitar la cartulina ya que es demasiado delgada, preferiblemente cartón de 30 ó 50/100 milímetros (puede encontrarse en los paquetes de papel para fotografía para impresora a color). Este cartón debe ser lo suficientemente rígido para poder soportar el montaje y la utilización del modelo. Si no puede encontrarse papel carbón, se puede conseguir el mismo resultado oscureciendo el reverso de la hoja fotocopiada con un lápiz de mina negra grasa (3B), que se corresponda con los trazos realizados en el anverso. De este modo se obtiene un papel carbón, ya que repasando los trazos del anverso, estos aparecerán en el cartón subyacente.

El modelo está compuesto por **seis piezas**, que para empezar, es necesario recortar:

- la **cabeza A**, con las dos charnelas y y z ¡Cuidado! Se pliega en sentido inverso... (*véase* más adelante);
- la **pieza intermedia B**, que une la cabeza y la columna del raquis, está compuesta por una superficie de pegado gris en el anverso, y en el reverso, en posición simétrica, la misma zona de pegado;
- el **raquis cervical C** propiamente dicho, está compuesto también de una zona de pegado con la pieza intermedia;
- el **zócalo del modelo D**, contiene tres zonas de pegado;
- la **tira-túnel E**, con dos zonas de pegado en el anverso y dos pliegues invertidos;
- la **tira-soporte F**, con una zona de pegado a un lado y una lengüeta en el otro lado.

Recorte

Una vez recortadas estas piezas, es **indispensable preparar los pliegues de flexión**, reconocibles por las líneas discontinuas a pequeños trazos, que **siguen un código que es necesario respetar**. Para preparar un pliegue de flexión, es necesario **hacer una pequeña incisión, parcial, sobre el cartón**, en un tercio de su grosor, con un cúter, una hoja de bisturí, o una hoja de afeitar. La incisión debe realizarse en el **anverso sobre las líneas discontinuas a trazos, y en el reverso en las líneas representadas por trazos y puntos**, lo que permite plegar la primera incisión hacia el reverso, y la segunda, hacia el anverso. Para trasladar las líneas de incisión al reverso, pueden marcarse más sus extremos mediante un pequeño agujero que puede hacerse con la **punta seca de un compás**. Para la pieza C que representa el raquis, las incisiones oblicuas deben realizarse **a ambos lados**, de forma que el cartón pueda doblarse tanto en un sentido como en el otro. Para no fragilizar demasiado el cartón, la incisión del reverso ha de realizarse **de forma muy sutil (1 mm) por encima de la del anverso**.

Antes de montarlo, es necesario **que se hagan los agujeros**, ya que hacerlos después podría hacer que el montaje fuese demasiado débil. Si no se dispone de una perforadora, hay que intentar hacer los agujeros **con los bordes limpios**, lo que facilitaría el paso de los cordones o gomas elásticas, al final. Si existen agujeros en dos piezas estos deben **coincidir a la perfección**.

Montaje

Comenzar por el montaje del zócalo

- La primera pieza que debe prepararse es la **tira-túnel E**.

En la lámina 2, se puede apreciar que tras haber realizado las incisiones en el anverso y reverso, esta puede doblarse en forma de U invertida, en omega.

- Para poder mantener lo que se ha pegado hasta que se seque, pueden emplearse clips o pinzas como las que tienen los electricistas.
- Las dos patas deben pegarse sobre las dos pequeñas **superficies oscurecidas**, de forma que se consiga un pequeño túnel plano para la lengüeta de la pieza **F** (**Fig. 1**).

- En el eje de la pieza **F debe recortarse una hendidura** con una cuchilla.
- La incisión del pliegue central se hace en el anverso, las dos laterales en el reverso, lo que permite doblar la pieza en acordeón (Fig. 2).
- **Una de las patas** de la pieza **F** se pega sobre el zócalo, sobre la amplia superficie oscurecida, del mismo lado que la pieza anterior (Fig. 3).
- Cuando todas las zonas que se han pegado estén secas y sean sólidas, se introduce **la segunda parte de la pieza F en la tira-túnel**: el zócalo está finalizado (Fig. 4). Este sistema permite la colocación del zócalo sobre una superficie plana.

Montaje del raquis cervical

- Sobre la pieza **A** realizar los dos pliegues invertidos **en ángulo recto.**
- Pegar la lengüeta situada por debajo del eje y sobre la cara superior de la pieza **B**.
- ¡**Atención**!: vigilar que el pliegue se realice en el sentido adecuado, tal cual se ha indicado en el **esquema IV** y hacer coincidir los agujeros.
- Cuando este primer pegado ya esté seco y sea sólido, pegar la cara inferior de la pieza **B** sobre la lengüeta de la pieza **C** plegada en ángulo recto en el sentido correcto. Nuevamente, es necesario hacer coincidir los agujeros.

Montaje del modelo

- Verificar la entalladura en la base de la pieza **C**: es ésta la que va a bloquear la pieza sobre el zócalo, tras introducirla en la hendidura de la pieza **F**.
- Para garantizar un montaje más sólido, también se puede deslizar una cerilla o un palillo de dientes en el agujero **k**, que pasará bajo la pieza **F** del zócalo.
- En esta etapa, el modelo debe mantenerse de forma natural en una posición erguida. Pero cuando se hayan flexibilizado los pliegues de flexión oblicuos de la pieza **C**, el modelo tendrá tendencia a inclinarse lateralmente. **Esta inestabilidad traduce la inestabilidad natural del raquis cervical**, controlado por **obenques musculares.**

Equilibrado del modelo

Para que el modelo permanezca en una posición erguida, **es necesario equilibrarlo con cordones o gomas elásticas**. Esto se consigue con "cordones de zapatillas" que pueden comprarse por pares en las mercerías.

Para la operación equilibrado con las gomas elásticas o los cordones se necesita mucha minucia y paciencia. Un cordón puede fijarse por un lado mediante un nudo en los agujeros ya preparados, y por el otro lado introduciéndolo en **una hendidura realizada con un pequeño corte con las tijeras** en el borde del cartón. De esta forma es posible **regular la tensión bloqueándolo.**

Estos tensores elásticos pertenecen a **dos categorías**:

- Los que controlan la parte superior, la del raquis suboccipital que contiene tres ejes, materializados por tres charnelas: la vertical para la rotación de la cabeza; la transversal para la flexión-extensión; la sagital para inclinación.
  - El cordón o la goma elástica **1** se anuda en el agujero **a**, pasa por el agujero **a´** y se bloqueará después de regular la tensión el la hendidura **h4**. Este cordón permite regular la **flexión-extensión de la cabeza.**
  - La goma elástica o el cordón 2 pasa por el agujero **b´** y se anuda, tras regular su tensión, en los agujeros **c´y b**. Controla la **rotación de la cabeza**.
  - La goma elástica o el cordón 3 se anuda en los agujeros **c** y **c´** tras haber pasado por la hendidura **h5**. Gracias al bloqueo en esta hendidura, es posible regular la **inclinación de la cabeza.**
  - El cordón o goma elástica 4 se monta como el cordón **3**, pero es un poco más largo ya que pasa por la hendidura **h6**. Controla tanto la inclinación de la cabeza como la **estabilidad de la parte superior del raquis.**
- Los que controlan el raquis cervical inferior se parecen en el caso de los dos primeros a los músculos escalenos.
  - El cordón o goma elástica 5 se anuda en el agujero **e** y se bloqueará, tras regular su tensión, a un lado y otro del zócalo en las hendiduras **h1**.
  - La goma elástica o el cordón **6** se anuda en el agujero **d** y se bloqueará, tras regular su tensión, a un lado y otro del zócalo en las hendiduras **h2**.

Estos dos cordones mantienen el raquis cervical en el eje.

- Finalmente, la goma elástica o cordón 7 se anuda a cada lado, sobre los agujeros **c** y **c´**, y acaba bloqueándose en el zócalo, a la altura de la hendidura **h3**. Controla el equilibrio lateral de conjunto.

Regulando estos diferentes cordones o gomas elásticas, puede entenderse hasta que punto el raquis cervical representa un **edificio inestable** cuyo equilibrio depende de los obenques musculares. Se entiende también que cualquier cambio que acontezca en uno de los obenques modifique el equilibrio de conjunto, lo que significa que el raquis cervical forma un **todo funcional: cualquier perturbación de un elemento anatómico repercute en el conjunto**.

Una vez regulados todos los cordones o gomas elásticas, se pueden experimentar los distintos movimientos del raquis cervical.

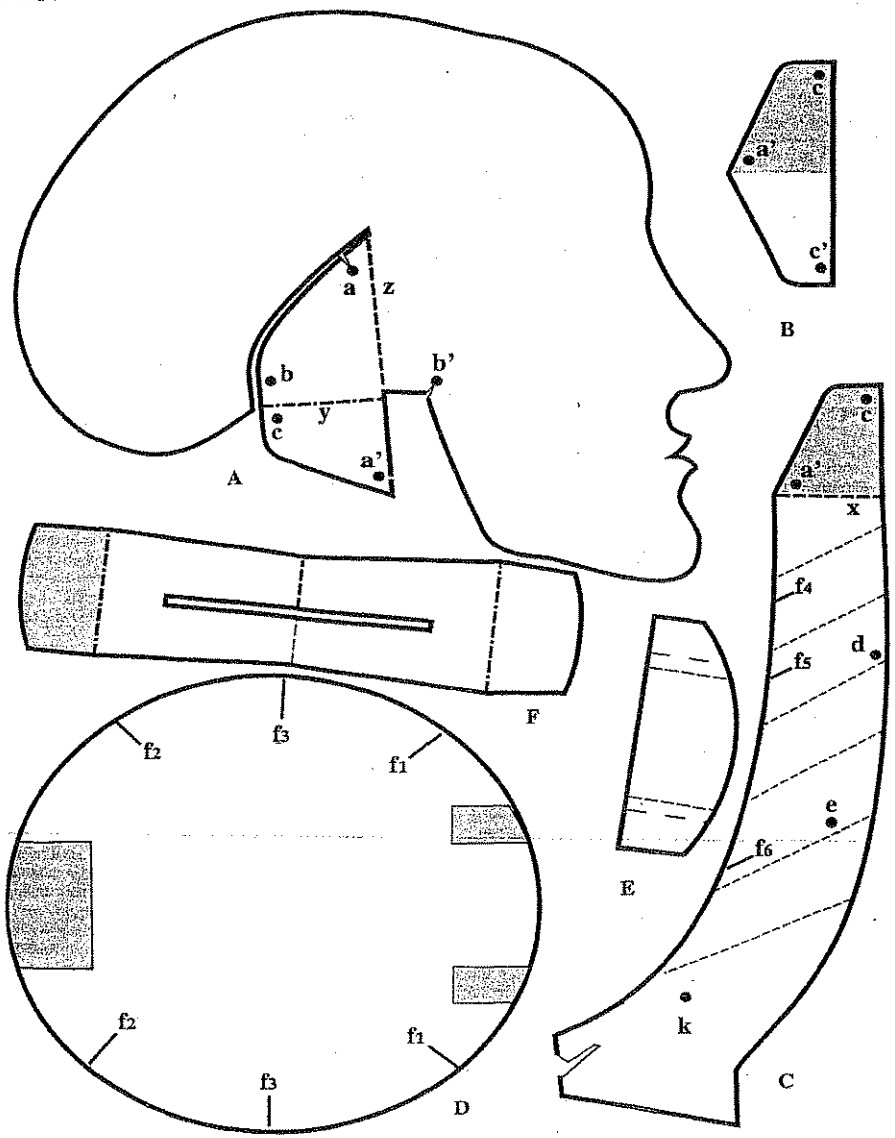
En primer lugar, movilizando únicamente el raquis cervical inferior sobre sus charnelas, aparece claramente el movimiento unívoco de inclinación-rotación. A partir de esta posición, se pueden imprimir a la cabeza, gracias a su sistema suboccipital, igual a una enartrosis de tres grados de libertad, los **componentes de corrección**:

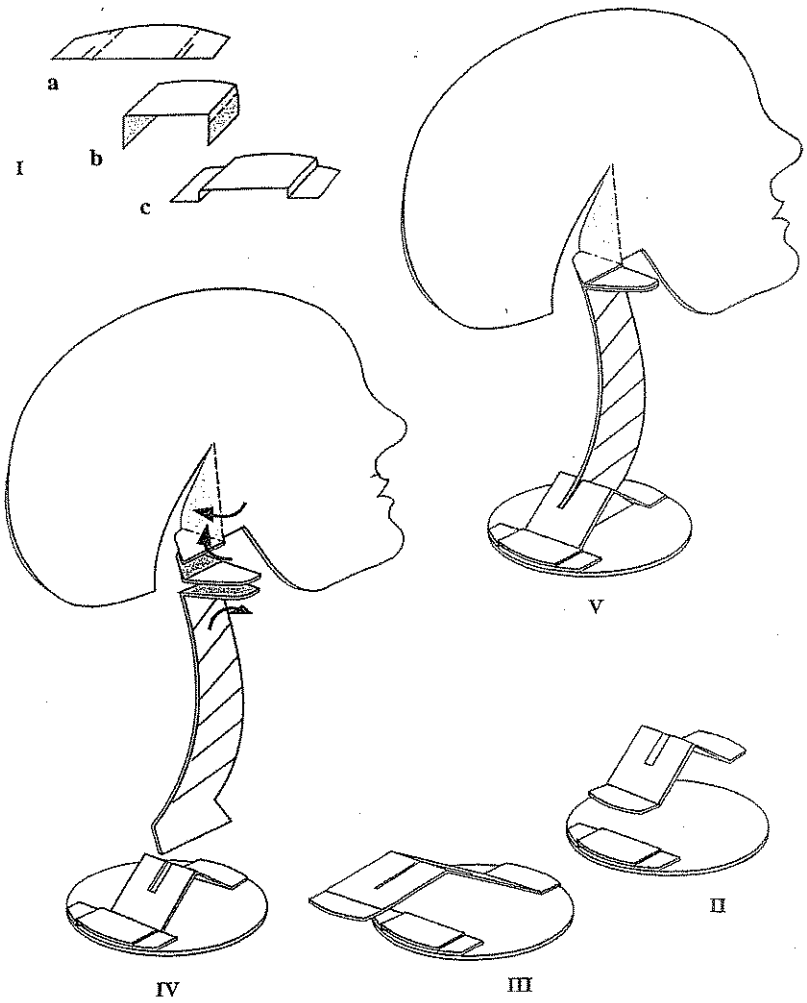
- una **rotación en el sentido del movimiento**, lo que completa la inclinación de la cabeza;
- una inclinación del lado opuesto al movimiento, asociada a una rotación del lado del movimiento, lo que lleva a cabo una rotación pura de la cabeza;
- es posible, manteniendo con firmeza el zócalo y la pieza **A** realizar el **movimiento de la bailarina balinesa,** por traslación a un lado y a otro del eje de simetría. Para realizar este movimiento, totalmente **antinatural,** es necesario hacer contra-compensaciones, algo que el lector podrá analizar por sí mismo.

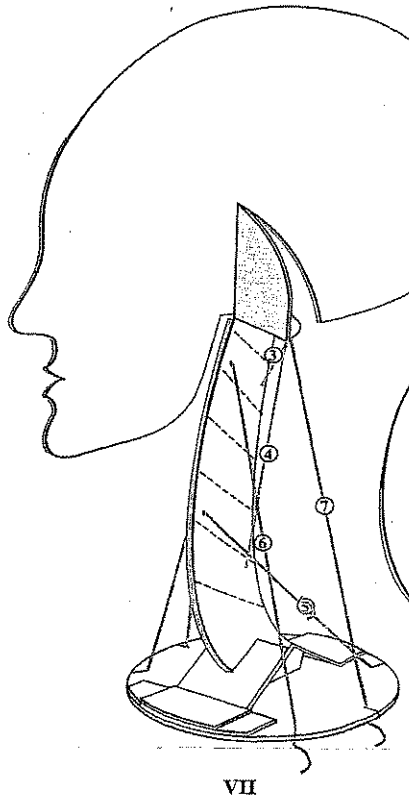
Los esfuerzos que realice cualquier lector para construir este modelo serán recompensados descubriendo manualmente todo tipo de movimientos y de compensaciones posibles en el raquis cervical...

¡Ánimo...!

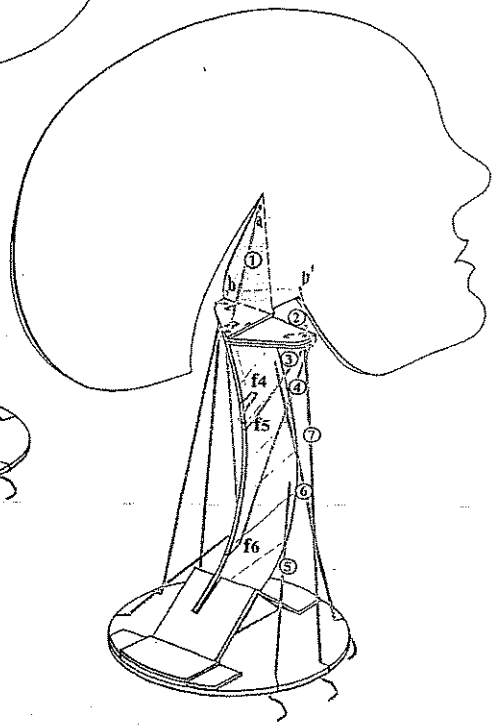
Plancha I




a
b
c
I
V
IV
III
II



VII



VI